Lucerne University of
Applied Sciences and Arts
HOCHSCHULE
LUZERN
Engineering & Architecture

Bachelor Diplomarbeit 2008

Steuerung und Regelung
des Kleinwasserkraftwerks am Gerisbach in Wilen, OW

Verfasser
Tobias Burch
Silvan Gisler

Betreuer
Prof. Dr. Dominique Salathé

Experte
Hansjörg Riesen

25. Juli 2008

Abstract

This documentation is about a project of upgrading a micro hydro power plant. It gives you detailed information of a particular project in Wilen (Switzerland). This power plant is equipped with a pelton turbine. The mechanical power drives a 3-phase asynchronous generator. The main subject of this documentation is the realisation of a new control system with water level regulation.

At the beginning, the law about electrical power generation is analysed and the owner of the plant is interviewed. The control system project is based on this basic information and the results of an industry project. After the stage of research and analysis of different subjects, follows the elaboration of different sub-systems. These little sub-systems are grouped to two stand-alone solutions to fulfil the requirements of the control system. Both solutions are evaluated concerning safety, ease of use, functionality and many other criteria. Depending on the evaluation results is chosen the control system which is going to be realised at the next project stage. The realisation needs know-how in many different subjects.
At the stage realisation first are chose several electrical and mechanical components. These components are drawn in plans. The different components for the control system are put in a control enclosure. Software is implemented for the programmable components. After the finished work of building the control system and implementing the software, it is made a first function test. The preparation for the installation of the new control system is started in consideration of the positive test results. When the well prepared installation is finished, the hydro power plant is ready for the first commissioning with the new control system. The test stage is the last and most important part of the upgrading project. Every part of the system works properly except the level regulation. The function of the regulation works, but due to the water level oscillation the regulator should be improved.
After the positive test result there are instructions and documents given to the owner of the micro hydro power plant.

Inhalt

1 Projekteinstieg 10
1.1 Einleitung 10
1.2 Aufgabenstellung 11
1.3 Zeitplan 13
1.4 Adressen 14

2 Initialisierungsphase 16
2.1 Erwartungen Anlagenbesitzer 16
2.2 Pflichtenheft nach Aufgabenstellung 17
2.2.1 Steuerung und Schutzfunktionen 17
2.2.2 Pegelstandregelung 17
2.2.3 Datenaufzeichnung 18
2.3 Recherche und Analyse 19
2.3.1 Sicherheitsvorschriften und Schutzfunktionen 19
2.3.2 Steuerung 21
2.3.3 Anzeigeinstrumente 22
2.3.4 Regelung 24
2.3.5 Nadel verstellen 25
2.3.6 Wasserstand ermitteln 26
2.3.7 Datenaufzeichnung 27
2.3.8 Energie zuführen 28
2.3.9 Art der Pegelstandregelung 29
2.3.10 Leistungsfaktor 30
2.4 Besichtigung Trinkwasserkraftwerk Stockenmatt 31
2.5 Erkenntnisse und Ausblick 32

3 Konzeptphase 34
3.1 Morphologischer Kasten 35
3.2 Systemstruktur 36
3.2.1 Schutzsystem 37
3.2.2 Inbetriebnahmesystem 37
3.2.3 Regelsystem 38
3.3 Erkenntnisse und Ausblick 38

4 Systementwurf 40
4.1 Gesamtkonzepte 41
4.1.1 Morphologischer Kasten mit Gesamtkonzepten 41
4.1.2 Konzept rot 42
4.1.3 Konzept grün 43
4.1.4 Bewertung Gesamtkonzepte 44
4.1.5 Wahl Gesamtkonzept 44
4.2 Erkenntnisse und Ausblick 45

5 Realisierungsphase 47
5.1 Übersicht Steuerungs- und Regelungssystem 48
5.2 Wahl und Beschreibung der Komponenten 49

5.2.1 SPS Omron 49
5.2.2 Touchscreen 50
5.2.3 EM26 Verbrauchsmesser und Leistungsanalysator 50
5.2.4 Antriebssystem für Düsenverstellung 51
5.2.5 Maxon EPOS P 52
5.2.6 Maxon DC Motor 52
5.2.7 Schütz 53
5.2.8 Relais 53
5.2.9 Überwachungsrelais 54
5.2.10 Drucksensor 55
5.3 Materialkosten 56
5.4 Schnittstellen 59
5.4.1 Verbindung zu EPOS P 60
5.4.2 Signalschnittstellen 60
5.5 Elektroschema 62
5.6 Programm auf Maxon EPOS P 63
5.6.1 Digitale Eingänge einlesen 64
5.6.2 Referenzfahrt durchführen 65
5.6.3 Analog Eingang Einlesen 66
5.6.4 Absolut Positionierung durchführen 67
5.6.5 Digitale Ausgänge schreiben 68
5.7 Anschlüsse Maxon EPOS P 69
5.8 Programm auf der SPS 71
5.8.1 Sicherheitskreis 72
5.8.2 Inbetriebnahme 73
5.8.3 Berechnung 74
5.8.4 Steuerung 75
5.8.5 Regelung 76
5.8.6 Datenaufzeichnung 77
5.8.7 Signalisierung 78
5.9 Regelung 79
5.9.1 Übersicht des Regelsystems 79
5.9.2 Regelkreisstruktur 80
5.9.3 Berechnung der Ist-Höhe 83
5.9.4 Messung des Drucksensor-Signals 85
5.9.5 Messzeitpunkte 86
5.9.6 Totzone für die Regeldifferenz 87
5.9.7 Das Verhalten der Regelstrecke 88
5.9.8 Regler 91
5.10 Mechanik 93
5.10.1 Support-Rohr 93
5.10.2 Düsenverstellung 94
5.11 Schaltschrank 96
5.11.1 Montageposition Schaltschrank 96
5.11.2 Komponentenanordnung 96
5.11.3 Klimatisierung 97
5.11.4 Verdrahtungsprüfung 98
5.12 Erster Funktionstest 99
5.13 Einbau der neuen Steuerung 100

5.13.1 Montage 100
5.13.2 Inbetriebnahme Steuerung 101
5.13.3 Inbetriebnahme Regelung 102
5.14 Erkenntnisse und Ausblick 102

6 Testphase 104
6.1 Fehlersimulation 104
6.1.1 Not-Aus 104
6.1.2 Druckschalter 104
6.1.3 Phasenausfall L1 105
6.1.4 Phasenausfall L2 105
6.1.5 Phasenausfall L3 105
6.1.6 Netzfrequenz 106
6.1.7 Überdrehzahl 106
6.1.8 Motorschutzschalter 106
6.1.9 Generatorschütz 107
6.1.10 Kondensatorschütz 107
6.2 Funktionstest 108
6.2.1 Einschaltdrehzahl (Unterdrehzahl) 108
6.2.2 Anlage einschalten 108
6.2.3 Anlage ausschalten 109
6.2.4 Düsenverstellung (zu) 109
6.2.5 Düsenverstellung (50 %) 109
6.2.6 Düsenverstellung (auf) 109
6.2.7 Regelung 1 110
6.2.8 Regelung 2 110
6.2.9 Datenaufzeichnung 110
6.3 Erkenntnisse und Ausblick 111

7 Projektabschluss 113
7.1 Anlagendokumente und Übergabe 113
7.1.1 Anlagendokumente 113
7.1.2 Übergabe 113
7.2 Offene Arbeiten 114
7.2.1 Multifunktions-Anzeigeinstrument 114
7.2.2 Regelung 115
7.2.3 Datensicherung 115
7.3 Schlusswort 117

8 Literatur 119
8.1 Bücher 119
8.2 Internet 119

Abbildungen

Abbildung 2-1: Schema einer Schaltanlage für Asynchrongenerator 20
Abbildung 2-2: Mögliche Lösung Steuerung 21
Abbildung 2-3: Mögliche Anzeigeinstrumente 22
Abbildung 2-4: Mögliche Realisierungsvarianten Regelung 24
Abbildung 2-5: Mögliche Lösungen Motor Nadelverstellung 25
Abbildung 2-6: Möglichkeiten der Wasserstandermittlung 26
Abbildung 2-7: Mögliche Lösungen zur Datenaufzeichnung 27
Abbildung 2-8: Mögliche Varianten für Energiezuführung 28
Abbildung 2-9: Gesamtwirkungsgrad der Anlage 29
Abbildung 2-10: Leistungsfaktor der Anlage 30
Abbildung 2-11: Kraftwerk Stockenmatt Steuerschrank 31
Abbildung 2-12: Kraftwerk Stockenmatt Generator und Turbine 32
Abbildung 3-1: Morphologischer Kasten 35
Abbildung 3-2: Gesamtsystem Steuerung und Regelung 36
Abbildung 3-3: Schutzsystem 37
Abbildung 3-4: Inbetriebnahmesystem 37
Abbildung 3-5: Grundprinzip der Pegelstandsregelung 38
Abbildung 4-1: Morphologischer Kasten mit Gesamtkonzepten 41
Abbildung 5-1: Übersicht Gesamtsystem 48
Abbildung 5-2: SPS Omron 49
Abbildung 5-3: Touchscreen 50
Abbildung 5-4: Multifunktions-Anzeigeinstrument 50
Abbildung 5-5: Maxon EPOS P 52
Abbildung 5-6: Schütz 53
Abbildung 5-7: Relais 53
Abbildung 5-8: Überwachungsrelais 54
Abbildung 5-9: Drucksensor 55
Abbildung 5-10: Schnittstellen der SPS 59
Abbildung 5-11: Signalschnittstelle Maxon EPOS P 60
Abbildung 5-12: Programmstruktur EPOS P 63
Abbildung 5-13: Funktionsblock MU_GetAllDigitalInputs 64
Abbildung 5-14: Funktionsblock MC_Home 65
Abbildung 5-15: Funktionsblock MU_GetAnalogInput 66
Abbildung 5-16: Funktionsblock MU_MoveAbsolute 67
Abbildung 5-17: Funktionsblock MU_SetAllDigitalOutputs 68
Abbildung 5-18: Verdrahtung der Maxon EPOS P 69
Abbildung 5-19: Ein- und Ausgänge der Maxon EPOS P 69
Abbildung 5-20: Programmstruktur Sicherheitskreis 72
Abbildung 5-21: Programmstruktur Inbetriebnahme 73

Abbildung 5-22: Programmstruktur Berechnungen 74
Abbildung 5-23: Programmstruktur Steuerung 75
Abbildung 5-24: Programmstruktur Regelung 76
Abbildung 5-25: Programmstruktur Datenaufzeichnung 77
Abbildung 5-26: Programmstruktur Signalisierung 78
Abbildung 5-27: Übersicht Regelsystem 79
Abbildung 5-28: Struktur eines Standard Regelkreises 80
Abbildung 5-29: unvollständige Regelkreisstruktur 81
Abbildung 5-30: Vollständige Regelkreisstruktur 81
Abbildung 5-31: Vereinfachte Regelkreisstruktur 82
Abbildung 5-32: Druck in Abhängigkeit der Düsenöffnung 83
Abbildung 5-33: Berechnung des Druckverlustes 84
Abbildung 5-34: Abtastung des Drucksensorsignals 85
Abbildung 5-35: Probleme bei falschen Messzeitpunkten 86
Abbildung 5-36: Totzone für den Regler 87
Abbildung 5-37: Düsenöffnung in Abhängigkeit der Zeit 88
Abbildung 5-38: Durchfluss in Abhängigkeit der Düsenöffnung 89
Abbildung 5-39: Sprungantwort 90
Abbildung 5-40: Support-Rohr 93
Abbildung 5-41: Motorenhalterung 94
Abbildung 5-42: Komponenten zur Düsenverstellung 95
Abbildung 5-43: Komponentenanordnung 97
Abbildung 5-44: Funktionstest 99
Abbildung 5-45: Maschinenraum nach dem Umbau 101

Tabellen

Tabelle 4-1: Kostenübersicht Konzept rot 42
Tabelle 4-2: Kostenübersicht Konzept grün 43
Tabelle 4-3: Bewertung Gesamtkonzepte 44
Tabelle 5-1: DC-Motor RE25.....51
Tabelle 5-2: Planetengetriebe GP 26 B.....51
Tabelle 5-3: Getriebeabgang.....51
Tabelle 5-4: Material und Kostenzusammenstellung 56
Tabelle 7-1: Speicherung Tageswerte 115
Tabelle 7-2: Speicherung Monatswerte.....116

Lucerne University of
Applied Sciences and Arts
HOCHSCHULE
LUZERN
Engineering & Architecture

Kapitel 1

Projekteinstieg

Verfasser
Tobias Burch
Silvan Gisler

1 Projekteinstieg

1.1 Einleitung

Das Industrieprojekt „Wasserkraftwerk Optimierung“ ist die Grundlage für die Erarbeitung dieser Diplomarbeit. Vieles baut auf den bereits gesammelten Erkenntnissen auf. Einige wichtige Erkenntnisse sind in dieser Arbeit nochmals abgedruckt. Trotzdem ist es von grossem Vorteil, wenn man vor dem Lesen dieser Diplomarbeit bereits die Dokumentation des Industrieprojekts angeschaut hat.

Auf den folgenden Seiten wird aufbauend auf den Erkenntnissen aus dem Industrieprojekt, die Modernisierung des Kleinwasserkraftwerks am Gerisbach beschrieben.

Eine neue Steuerung und Regelung für das untersuchte Kleinwasserkraftwerk zu realisieren, ist sehr umfangreich. Das Projekt umfasst von der Analyse gesetzlicher Grundlagen bis hin zur Testphase des modernisierten Kraftwerks viele Fachgebiete. Für den Erfolg solch einer umfangreichen Arbeit ist ein gutes Projektmanagement unumgänglich. Um eine gute Übersicht zu haben, ist die gesamte Diplomarbeit in sieben verschiedene Hauptteile unterteilt. Diese sind folgendermassen benannt:

- Projekteinstieg
- Initialisierungsphase
- Konzeptphase
- Systementwurf
- Realisierungsphase
- Testphase
- Projektabschluss

Dies ermöglicht es, den ganzen Projektablauf besser nachzuvollziehen und so getroffene Entscheidungen und Ergebnisse besser zu verstehen.
Während der Erarbeitung dieser Diplomarbeit sind einige Dokumente erstellt worden. Die wichtigsten, zum Kraftwerk gehörenden Anlagendokumente sind im Anhang beigelegt. Sämtliche selbst erstellten Dokumente, Bedienungshandbücher und Datenblätter der an der Anlage eingesetzten Komponenten befinden sich auf der beigelegten CD.

1.2 Aufgabenstellung

Diplomarbeit im Fachbereich elektrische Energietechnik

Aufgabe für die Herren Tobias Burch und Silvan Gisler

1. **Arbeitstitel**
   Steuerung und Regelung des Kleinwasserkraftwerks am Gerisbach in Wilen, OW

2. **Fachliche Schwerpunkte**
   Elektrische Energiewandler
   Steuerung und Regelung

3. **Einleitung**
   Im Rahmen des Industrieprojekts vom Wintersemester 07/08 haben Herr Burch und Herr Gisler das bestehende Kleinwasserkraftwerk am Gerisbach in Wilen, OW untersucht. Die Aufgabe bestand darin, sämtliche Komponenten des Kraftwerks auf deren Tauglichkeit und Effizienz zu prüfen. Als Resultat der Arbeit wurde empfohlen, die Peltonturbine zu ersetzen, die Steuerung zu erneuern und eine Regelung des Pegelstandes in der Druckleitung zu realisieren. Eine Zusammenstellung der Resultate befindet sich im Schlussbericht des Industrieprojekts:
   „WKWO Wasserkraftwerk Optimierung“ Tobias Burch und Silvan Gisler, 30. Januar 2008

4. **Aufgabenstellung**
   Für das Kraftwerk ist eine **neue Steuerung** nach den aktuell geltenden Sicherheitsvorschriften zu entwerfen und zu realisieren. Speziell zu beachten sind die **Schutzfunktionen**, welche unzulässige Betriebszustände für die Maschinengruppe verhindern.

   Damit die elektrische Energieproduktion automatisch erfasst werden kann, ist eine entsprechende Einrichtung zur **Datenerfassung** einzuplanen.

   Die Steuerung soll mit einer **Regelung des Pegelstandes in der Druckleitung** ausgerüstet werden. Dies ermöglicht einen Teillastbetrieb der Anlage, und verringert die Ausfallstunden der Produktion.

   Da die Besitzer des Kleinwasserkraftwerks keine grossen Investitionen tätigen können, ist Wert auf ein **kostengünstiges Konzept** zu legen.

5. Durchführung der Arbeit

Termine

Start der Arbeit:	Dienstag, den 25. März 2008, 08:30 Uhr, Raum C300
Zwischenpräsentation:	Mittwoch, den 18. Juni 2008 (Zeit: abmachen)
Abgabe Schlussbericht:	Freitag, den 25. Juli 2008, 16:30 Uhr
Abschlusspräsentation:	Mittwoch, den 27. August 2008 (Zeit: abmachen)
Abgabe Poster:	wird bekannt gegeben
Öffentliche Diplomausstellung:	4. bis 6. September

Der Schlussbericht muss im Sekretariat Diplomausbildung abgegeben werden. Die termingerechte Abgabe wird mit einem Stempel bestätigt.

6. Dokumentation

Der Schlussbericht ist in 3-facher Ausführung zu erstellen. Der Schlussbericht enthält zudem zwingend die folgende Selbstständigkeitserklärung auf der Rückseite des Titelblattes:

„Hiermit erkläre ich, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig angefertigt und keine anderen als die angegebenen Hilfsmittel verwendet habe. Sämtliche verwendeten Textausschnitte, Zitate oder Inhalte anderer Verfasser wurden ausdrücklich als solche gekennzeichnet.

Horw, Datum, eigenhändige Unterschrift"

einen englischen Abstract mit maximal 2000 Zeichen.

Zusätzlich muss dem betreuenden Dozenten eine CD mit dem Bericht (inkl. Anhänge), mit den Präsentationen, Messdaten, Programmen, Auswertungen, usw. abgegeben werden.

Für die öffentliche Diplomausstellung ist ein Poster gemäss den Layout-Vorgaben zu erstellen.

7. Fachliteratur/Web-Links/Hilfsmittel

Nichts Besonderes

8. Verantwortlicher Dozent

Prof. Dr. Dominique Salathé

9. Experte

Herr Hansjörg Riesen

Hochschule Luzern
Technik & Architektur

Prof. Dr. Dominique Salathé

1.3 Zeitplan

| | SW1 | | SW 2 | | SW 3 | | SW 4 | | SW 5 | | SW 6 | | SW 7 | | SW 8 | | SW 9 | | SW 10 | | SW 11 | | SW 12 | | SW 13 | | SW 14 | | 30.06.08 - 25.07.08 | | |

1.4 Adressen

1. Verfasser:

Tobias Burch
Sagenstrasse 10
6062 Wilen
Tel.: 079 641 74 60
E-mail: tobias.burch@stud.hslu.ch

Silvan Gisler
Oberfeld
6404 Greppen
Tel.: 078 691 10 58
E-mail: silvan.gisler@stud.hslu.ch

2. Besitzer Kraftwerkanlage:

Gebr. Burch
Sägerei und Holzhandlung
Sagenstrasse 10
6062 Wilen
Tel.: 041 660 14 82
Fax.: 041 660 84 92

3. Betreuer Diplomarbeit:

Prof. Dr. Dominique Salathé
Tel.: 041 349 33 08
E-mail: dominique.salathe@hslu.ch

4. Experte:

Hansjörg Riesen
Tel.: 041 349 33 92
E-mail: hansjoerg.riesen@hslu.ch

Lucerne University of
Applied Sciences and Arts
HOCHSCHULE
LUZERN
Engineering & Architecture

Kapitel 2

Initialisierungsphase

Verfasser
Tobias Burch
Silvan Gisler

2 Initialisierungsphase

Die Initialisierungsphase legt den Grundstein der gesamten Diplomarbeit. Es ist besonders wichtig hier ein sehr gutes Fundament zu legen, auf welchem die nachfolgenden Arbeiten solide aufbauen können. Bereits hier ist es wichtig die Rahmenbedingung des Gesamtprojekts immer vor Augen zu haben, damit das Projekt nicht in eine falsche Richtung gelangt. Jedoch darf wiederum das Ziel nicht zu direkt anvisiert werden, da sonst eventuelle Realisierungsmöglichkeiten missachtet werden.

Damit nicht von Anfang an neben dem Ziel vorbeigesteuert wird, werden zuerst die Erwartungen des Anlagenbesitzers aufgenommen. Anschliessend wird das Pflichtenheft anhand der Aufgabenstellung unter Miteinbezug der Erwartungen des Kraftwerkbesitzers erstellt. Basierend auf diesen Informationen werden anschliessend Recherchen und dazugehörige Analysen für mögliche Teilsysteme gemacht. Damit der Bezug zur Realität nicht ausser Acht gerät, wird ein neu installiertes Wasserkraftwerk derselben Leistungsklasse besichtigt und dessen Funktionssystem näher untersucht.

2.1 Erwartungen Anlagenbesitzer

Der Anlagenbesitzer hat nicht technisch tiefgründige Kenntnisse bezüglich der Steuerung und Regelung von Kraftwerkanlagen. Dem Besitzer ist grundlegend wichtig, dass ein sicherer Betrieb der Anlage gewährleistet ist. Ein anderer wichtiger Punkt ist die Anlagenbedienung. Es ist grossen Wert auf ein bedienerfreundliches Konzept zu legen, welches eine möglichst einfache Bedienung der Anlage ermöglicht. Damit die Investitionen für die neue Steuerung und Regelung nicht das Budget des Kraftwerkbesitzers übersteigen, ist für die Modernisierung der Anlage ein maximaler Betrag von SFr. 10'000.- festgelegt worden.

Selbstverständlich wird vom Anlagenbesitzer zudem erwartet, dass der Kontakt zu ihm stets aufrecht erhalten bleibt und bei wichtigen und grundlegenden Entscheidungen Rücksprache gehalten wird.

2.2 Pflichtenheft nach Aufgabenstellung

2.2.1 Steuerung und Schutzfunktionen

Die neu installierte Anlage soll so konstruiert sein, dass diese auch dann noch funktioniert und sämtliche Schutzfunktionen erfüllt sind, wenn die Regelung und die Datenaufzeichnung inaktiv sind. Man kann also sagen, dass die neue Steuerung, welche mindestens die gleichen Schutzfunktionen erfüllen muss wie die bestehende Anlage, der Regelung und der Datenaufzeichnung überlagert ist.
Die Regelung muss am Steuerungskasten ein- und ausgeschaltet werden können. Ist die Regelung ausgeschaltet, muss die Anlage genau so funktionieren wie bisher. Das heisst, dass die Anlage im aktuell eingestellten Arbeitspunkt weiter läuft, bis sie durch eine Schutzfunktion oder von Hand ausgeschaltet wird.

2.2.2 Pegelstandregelung

Die Aufgabe der Pegelstandregelung ist es, den Wasserdurchfluss so zu regeln, dass der Pegelstand des Wassers in der Druckleitung und im Entsander konstant bleibt.
Wenn Wassermangel herrscht, soll die Düse soweit geschlossen werden, dass der Pegelstand in der Druckleitung konstant bleibt. Sobald die Anlage aber in einen solchen Betriebszustand kommt, also in Teillast betrieben wird, soll dies mit einer Signallampe ausserhalb des Maschinenhauses angezeigt werden. So wird ermöglicht, dass der Wassereinlauf gereinigt werden kann, bevor die übergeordnete Steuerung infolge Wassermangels das Kraftwerk abschaltet. Wenn nach dem Reinigen des Wassereinlaufs der Pegel ansteigt, soll die Düse wieder so weit wie möglich geöffnet werden. Das Kraftwerk läuft somit wieder in Volllast und die Wassermangel-Signallampe löscht.
Erst wenn die elektrische Leistung unter 4 kW sinkt, wird die Düse nicht mehr weiter geschlossen. So wird erreicht, dass immer ein wenig Wasser durch die Druckleitung fliesst und das Wasser nicht in der Druckleitung gefriert wenn es kalt ist.

Da die Regelung der Steuerung untergeordnet ist, wird sie sofort abgeschaltet, wenn eine Schutzfunktion der Steuerung anspricht.

2.2.3 Datenaufzeichnung

Bisher wurde von den Betreibern der Anlage selbst Statistik darüber geführt, wie viel Wirkenergie das Kraftwerk produziert hat. Zukünftig soll diese Datenaufzeichnung automatisch erfolgen. Der Betrag an produzierter elektrischer Wirkenergie muss für einzelne Tage und Monate abgespeichert und visualisiert werden.

Die Datenaufzeichnung ist ebenfalls der Steuerung untergeordnet. Sie soll aber noch funktionieren, wenn die Pegelstandsregelung inaktiv ist.

2.3 Recherche und Analyse

2.3.1 Sicherheitsvorschriften und Schutzfunktionen

Laut Herr Schädler vom EWO gibt es vom Elektrizitätswerk keine bestimmten Vorschriften, welche beachtet werden müssen. Wenn die zukünftige Installation die gleichen Sicherheitskomponenten enthalte, genüge dies. Es müssen aber grundsätzlich die geltenden Vorschriften des ESTI, NIN usw. eingehalten werden.
In den Dokumentationen vom Impulsprogramm PACER über erneuerbare Energien des Bundesamtes für Konjunkturfragen, wird eine Zusammenstellung von erforderlichen Schutzmassnahmen dargelegt. Das Dokument „Dimensionierung Kleinwasserkraftwerke Generatoren und elektrische Installationen“ von PACER befindet sich auf der beigelegten CD unter Dokumentation / Dokumentationsdetails.

Für das Kraftwerk sind gemäss PACER folgende Punkte zu erfüllen:

Not-Aus Bedingungen
Bedingungen für einen sofortigen Not-Aus bzw. für eine Abschaltung der Anlage sind folgende:

- Handauslösung
- Überdrehzahl
- Kein Wasser
- Überlast / Übertemperatur (I_{th})
- Überstrom Icc (Dauerkurzschlussstrom)
- Über- / Unterspannung
- min. Impedanz

Schutzrelais
Um die erwähnten Not-Aus Bedingungen zu erfüllen, müssen im Schaltschrank folgende Schutzrelais vorgesehen werden:

- Überlast (I_{th} mit Wärmepaket)
- Überstrom
- Über- / Unterspannung
- Über- / Unterfrequenz
- Rückleistung
- Min. Impedanz

Es ist allerdings nicht unbedingt nötig, dass für jede Schutzfunktion ein separates Relais verwendet wird. Es gibt auch Relais welche gleich mehrere Schutzfunktionen in einem erfüllen.

Anzeigeinstrumente

Zudem gibt es einige Grössen, welche direkt am Schaltschrank der Anlage sichtbar angezeigt werden müssen:

- Generatorstrom
- Generatorspannung
- Wirkenergie (kWh)

Das Schema für die untersuchte Anlage könnte somit folgendermassen aussehen:

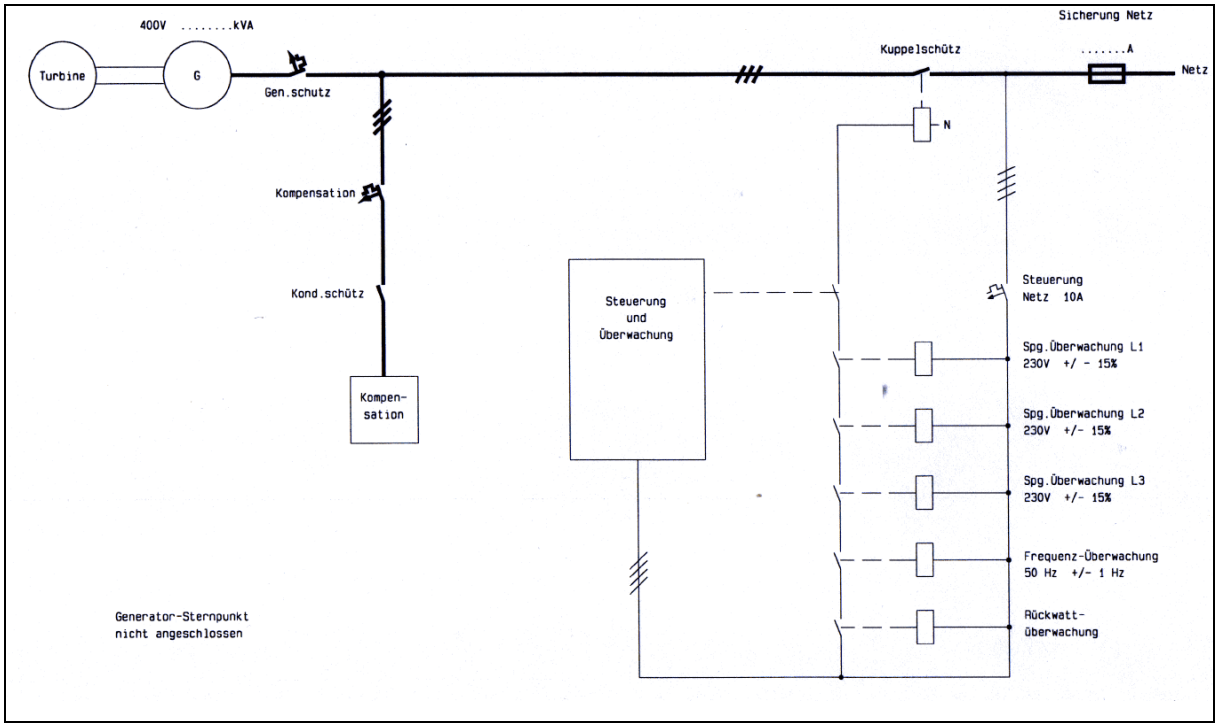


Abbildung 2-1: Schema einer Schaltanlage für Asynchrongenerator
Quelle: http://www.kobel.info/Produkte/Anlagen/Netzparallel_asynchron.pdf, 17.03.2008

2.3.2 Steuerung

Grundsätzlich ist bei der Steuerung an erster Stelle grossen Wert auf die Schutzfunktionen zu legen. Nur mit geeigneten Überwachungs- und Schutzgeräten kann ein sicherer Betrieb der Anlage gewährleistet werden. Im Folgenden sind die Erwägungen in Bezug auf die installierte Leistung von 21 kW gemacht. Allgemein muss für die Wahl und Dimensionierung der Komponenten darauf geachtet werden, dass diese 24 Stunden am Tag im Einsatz stehen.

Mögliche Lösungen für die Steuerung der Anlage		
SPS	Relais	Computer

Abbildung 2-2: Mögliche Lösung Steuerung

2.3.2.1 Relais

Die Relais-Steuerung wird in der heutigen Zeit nur noch bei sehr kleinen und einfachen Steuerungsaufgaben verwendet. Die kompakten programmierbaren Steuerungen haben die Relais-Steuerung stark verdrängt. Bereits bei Verwendung von zwei bis drei Zeitrelais macht sich der Einsatz einer programmierbaren Steuerung bezahlt.
Für die Sicherheitsfunktionen der Kraftwerksteuerung ist der Einsatz von Relais unabdingbar.

2.3.2.2 SPS

Eine speicherprogrammierbare Steuerung (SPS) findet in vielen Bereichen Anwendung. Als Ein- und Ausgangsbaugruppen stehen diverse Module mit den in der Industrie üblich eingesetzten Spannungssignalen zur Verfügung. Damit die Funktionen einer SPS-basierten Steuerung wie gewünscht ausgeführt werden, muss diese programmiert werden. Eine Standard-SPS darf aufgrund dessen nicht als einziges Glied der Steuerung für sicherheitsrelevante Aufgaben eingesetzt werden. Bei Ansprechen einer Sicherheitsfunktion muss die Abschaltung, wenn nicht schon durch die SPS geschehen, direkt von einem Relais vollzogen werden.

Bei Einsatz eines Displays in Verbindung mit der SPS können aktuelle Prozessdaten darauf abgebildet werden. Jedoch können die aktuellen Generatorspannungs- und Generatorstromwerte nur mit Hilfe von diversen Signalkonvertern in die SPS eingelesen und auf dem Display angezeigt werden.

2.3.2.3 Computer

Eine von einem Personal Computer (PC) geführte Steuerung ist mit dem Steuerungssystem einer SPS zu vergleichen. Auch hier können keine sicherheitsrelevanten Funktionen übernommen werden. Die PC-Steuerung besteht aus Rechner und Bildschirm. Mit einer entsprechenden Peripherie-Baugruppe und über Signalkonverter lässt sich der PC an die Signale des Kraftwerks anbinden.
Grundsätzlich ist es nicht sinnvoll für solch eine Steuerungsaufgabe einen handelsüblichen Rechner dauernd laufen zu lassen. Es gibt für kleinere und nicht rechenleistungsintensive Anwendungen intelligente Pocket-PC's. Jedoch muss ein solcher PC die nötigen Schnittstellen für die Peripherieanbindung aufweisen und ist dementsprechend im oberen Preissegment angeordnet.

2.3.3 Anzeigeinstrumente

Mögliche Anzeigeinstrumente			
Digitale Anzeigeinstrumente	Analoge Anzeigeinstrumente	Analoge und Digitale Anzeigeinstrumente kombiniert	Multifunktionsgerät

Abbildung 2-3: Mögliche Anzeigeinstrumente

2.3.3.1 Digitale Anzeigeinstrumente

Die digitalen Anzeigeinstrumente sind weit verbreitet und in diversen Variationen erhältlich. Eine Elektronik stellt die gemessene Grösse auf einer 7-Segment LED-Anzeige oder auf einem LC-Display dar. Letzteres Anzeigesystem weist eine kleinere durchschnittliche Lebensdauer auf, da die Flüssigkristallanzeigen mit einem Alter von über 10 Jahren auslaufen können. Damit die zu messende Grösse vom Anzeigeinstrument erfasst werden kann, muss je nach Messgrösse das Anzeigeinstrument über einen Wandler angeschlossen

werden. Zudem müssen digitale Instrumente für dessen Betrieb separat mit Spannung versorgt werden.
Der Nachteil der digitalen Anzeigeinstrumente ist, dass nicht auf Anhieb erkenntlich ist, in welchem Bereich der Messbereichsspanne sich der momentan gemessene Wert befindet.

2.3.3.2 Analoge Anzeigeinstrumente

Die analogen Anzeigeinstrumente werden nicht mehr häufig eingesetzt, da diese jeweils im unteren Messbereich ungenau werden. Zudem geschehen bei der Ablesung Fehler, welche wegen des Parallaxefehlers hervorgerufen werden. Durch den relativ aufwändigen mechanischen Aufbau des Instruments, ist dieses teuerer als ein digitales Anzeigeinstrument. Der Vorteil des analogen Messinstruments liegt darin, dass dieses keine separate Spannungsversorgung benötigt und der Messbereich sofort ersichtlich ist.

2.3.3.3 Multifunktionsmessgerät

Multifunktionsmessgeräte weisen einen sehr kompakten und funktionellen Aufbau auf. Dank der Kombination, dass Strom und Spannung erfasst werden, besitzen diese Messinstrumente Funktionen um Wirk- und Scheinleistung anzuzeigen. Darüber hinaus dienen diese Instrumente auch als Energiezähler. Der gemessene Energiefluss wird nach Bedarf auf der Anzeige angezeigt. Zudem weisen einige Geräte die Funktion auf, dass diese kWh-Impulse ausgeben können. Diese Impulse sind unter Umständen für andere Steuerungskomponenten oder zur Datenaufzeichnung sehr nützlich.

2.3.4 Regelung

Mögliche Realisierungsvarianten der Regelung			
SPS	Computer	Motorcontroller	Elektronik Eigenbau

Abbildung 2-4: Mögliche Realisierungsvarianten Regelung

2.3.4.1 SPS

Regelungssysteme können mit einer SPS realisiert werden, sofern nicht extrem schnelle Vorgänge geregelt werden müssen. Die Pegelregelung in diesem Falle besitzt keine hochdynamischen Ansprüche. Somit kann der Einsatz einer SPS durchaus Sinn machen.

2.3.4.2 Computer

PC-Systeme weisen in den meisten Fällen hohe Rechenleistungen auf. Deshalb ist eine Pegelregelung für einen Computer ohne Probleme zu realisieren, sofern die entsprechende Peripherie vorliegt.

2.3.4.3 Motorkontroller

Motorkontroller mit dem entsprechenden Motor sind intelligente Antriebssysteme. Die Kontroller neuster Generation haben sehr umfangreiche Funktionen. Einige besitzen eine integrierte Logik, welche es ermöglicht, eine Antriebssteuerung im Stand-Alone-Betrieb zu erstellen. Solche intelligente Motorsteuerungen besitzen analoge und digitale Ein- und Ausgänge, welche in den Funktionsablauf der Logik miteinbezogen werden können. Die Stellbefehle können somit anhand von externen Signalen erfolgen.

2.3.4.4 Elektronik Eigenbau

Je nach Motorentyp ist eine Ansteuerelektronik mehr oder weniger aufwändig. Der zeitliche Aufwand für solch eine Elektronik ist aber nicht zu unterschätzen. Es müssen diverse Parameter überwacht und anhand von diesen reagiert werden, damit ein sicherer Betrieb gewährleistet werden kann.

2.3.5 Nadel verstellen

Um die Nadel der Düse zu verstellen bestehen diverse Möglichkeiten. Damit an der bestehenden Anlage nicht zu grosse Änderungen gemacht werden müssen, wird bevorzugt die Nadelverstellung über die bereits montierte Spindel zu bewerkstelligen. Somit muss lediglich ein Antrieb angebracht werden, welcher die Spindel in beide Richtungen drehen kann.

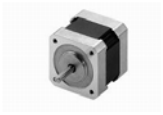
Mögliche Lösungen für das Teilproblem Nadel verstellen		
DC-Motor	AC-Motor	Computer
		

Abbildung 2-5: Mögliche Lösungen Motor Nadelverstellung

2.3.5.1 DC-Motor

DC-Motoren sind gut anzusteuern und regelbar. Für die optimale Ansteuerung werden exakt auf den Motor abgestimmte Motorkontroller angeboten.
Der Motor hat ein sehr hohes Anfahrmoment und je nach Bauart eine Abtriebsdrehzahl von einigen bis mehreren tausend Umdrehungen pro Minute. Somit muss für dessen Einsatz ein Getriebe mit entsprechender Untersetzung angebracht werden. DC-Getriebemotoren-Einheiten sind auf dem Markt weit verbreitet und praktisch in jeder Baugrösse gut zu beschaffen. Je nach Qualität der Kohlebürsten macht sich deren Verschleiss früher oder später bemerkbar.

2.3.5.2 AC-Motor

Wechselstrommotoren werden in einem grossen Leistungssegment angeboten. Bei grösseren Leistungen werden vorwiegend Drehstrommotoren eingesetzt. Auch bei dieser Motorart muss zu deren Drehzahluntersetzung ein Getriebe vorgeschaltet werden. Die Motoren sind sehr robust und praktisch wartungsfrei. Zur Ansteuerung dieser Motoren stehen verschiedenste Motorenkontroller zur Verfügung.

2.3.5.3 Schrittmotor

Schrittmotore sind mit einem passenden Motorkontroller einfach zu betreiben. Damit das benötigte Drehmoment aufgebracht werden kann, muss auch hier zusätzlich ein Getriebe zum Einsatz kommen. Die Schrittmotortechnik ist ausgereift und wird in vielen Geräten eingesetzt.

2.3.6 Wasserstand ermitteln

Möglichkeiten um den Wasserstand zu ermitteln	
Drucksensor im Maschinenraum	Sensor beim Entsander

Abbildung 2-6: Möglichkeiten der Wasserstandermittlung

2.3.6.1 Drucksensor im Maschinenraum

Eine preiswerte Variante den Wasserstand zu ermitteln besteht darin, dass ein Drucksensor an der Druckleitung im Maschinenraum angebracht wird. Der gemessene Druck stimmt proportional mit der aktuellen Höhe des Wassers in der Druckleitung respektive im Entsander überein.

2.3.6.2 Sensor beim Entsander

Der Wasserstand im Entsander kann vor Ort mittels eines Drucksensors oder mit einem Distanzsensor erfasst werden. Einen Sensor beim Entsander zu montieren ist kein Problem. Aber damit das Messsignal zur Steuerung im Maschinenraum übermittelt werden kann, sind grössere zusätzliche Massnahmen notwendig. Bei der Wasserfassung ist kein elektrischer Energieanschluss vorhanden. Zudem führt kein Leerrohr vom Maschinenhaus zur Wasserfassung. Um den Sensorwert auf irgendeine Art und Weise vom Entsander ins Maschinenhaus zu übermitteln, ist grosser Installations- respektive Kostenaufwand notwendig.

2.3.7 Datenaufzeichnung

Bei der Datenaufzeichnung wird davon ausgegangen, dass ein anderes Betriebsmittel pro kWh ein Signalimpuls ausgibt und dieser vom Datenaufzeichnungssystem erfasst wird.

Mögliche Lösungen zur Datenaufzeichnung			
Computer	Laptop	SPS	PDA

Abbildung 2-7: Mögliche Lösungen zur Datenaufzeichnung

2.3.7.1 Computer

Die Datenaufzeichnung ist mit einem PC und der entsprechenden Peripherie einfach zu realisieren. Eine Software läuft auf dem Rechner und zeichnet die über die digitale Schnittstelle eingelesenen Impulse eines Energiezählers über die Peripherieschnittstelle auf. Die gezählten Impulse werden auf dem Computer in einer Datenbank gespeichert.

2.3.7.2 Laptop

Bei dieser Variante wird die produzierte elektrische Energie mit Hilfe einer im Steuerschrank eingebauten Elektronik erfasst. Von Zeit zu Zeit kann ein Laptop über die serielle Schnittstelle mit der Aufzeichnungs-Elektronik verbunden und die Daten übertragen werden.

2.3.7.3 SPS

Die von der SPS erfassten Daten können über ein Display angezeigt werden. Die SPS hat nur beschränkt Speicherplatz zur Verfügung. Um die Daten über mehrere Jahre hinweg zu speichern, müssten diese zum Beispiel auf einen PC übertragen werden.
Diese Art der Datenaufzeichnung macht nur Sinn, wenn sowieso eine SPS für Steuerungsaufgaben eingesetzt wird, da sonst die Kosten zu gross werden.

2.3.7.4 PDA

Mit einem Personal Digital Assistant (PDA) kann eine Datenaufzeichnung nur mit zusätzlicher Peripherie realisiert werden. Über ein USB-Board ist es möglich, digitale Impulse zu erfassen. Es muss jedoch darauf geachtet werden dass, nicht alle PDA's eine USB-Schnittstelle für Hostbetrieb besitzen.

2.3.8 Energie zuführen

Mögliche Varianten um Energie zuzuführen	
Öffentliches Verbundnetz	Akkumulator

Abbildung 2-8: Mögliche Varianten für Energiezuführung

2.3.8.1 Öffentliches Verbundnetz

Der elektrische Energiebezug vom öffentlichen Verbundnetz stellt die einfachste Art dar das Kraftwerk mit dessen Hilfsenergie in Betrieb zu setzen, da die Kraftwerkanlage sowieso zur Leistungsabgabe an das elektrische Verbundnetz angeschlossen ist.

2.3.8.2 Akkumulator

Mit Akkumulatoren kann der Betrieb der Kraftwerksteuerung und Regelung auch bei Ausfall des öffentlichen Versorgungsnetzes aufrechterhalten werden. Jedoch darf der Generator nicht mehr ans öffentliche Verbundnetz gekoppelt sein. Da die Anlage keine Einrichtung für den Inselbetrieb besitzt und die Möglichkeit dieser Betriebsart nicht erforderlich ist, macht der Einsatz von Akkumulatoren nur für Geräte der Datensicherung sinn. Dabei ist zu beachten, dass je nach Akkumulator jährliche Wartungsarbeiten notwendig sind. Akkumulatoren altern schneller als andere elektrische Komponenten und sind daher nach einigen Jahren Einsatzdauer zu ersetzen.

2.3.9 Art der Pegelstandregelung

Grundsätzlich kommen zwei Arten von Regelungen in Frage. Die eine Variante besteht darin, bei Verringerung der Nettofallhöhe die Düse teilweise zu schliessen und somit den Durchfluss zu regulieren. Bei der zweiten Variante wird die Düse ganz geschlossen, das Kraftwerk abgeschaltet und erst wieder eingeschaltet, wenn der Entsander gefüllt ist.

Im Modul „Industrieprojekt“ wurde das Teillastverhalten der Anlage bereits untersucht:

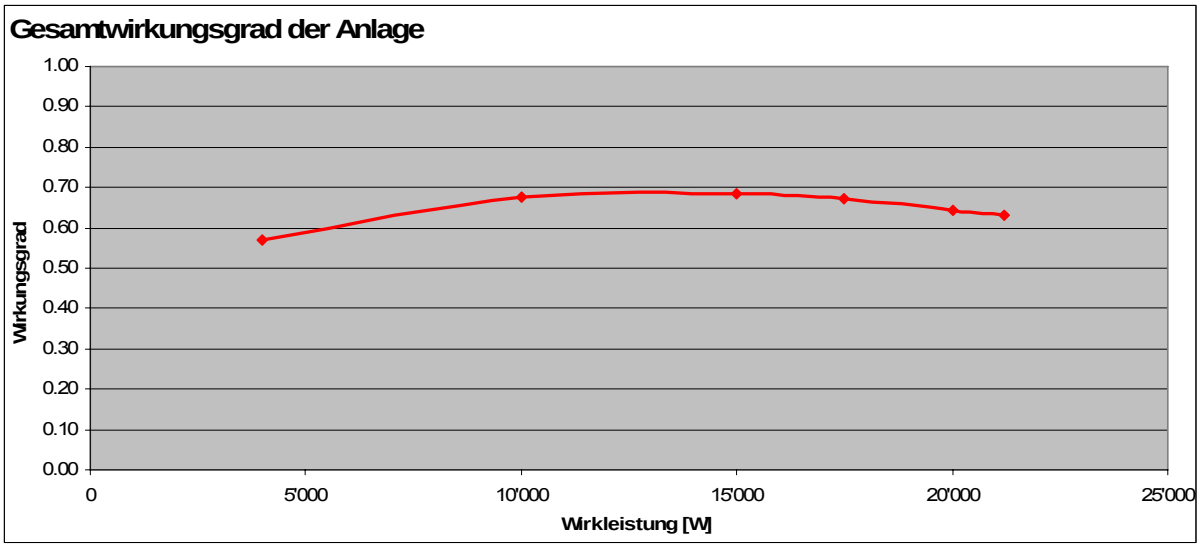


Abbildung 2-9: Gesamtwirkungsgrad der Anlage

Es ist zu erkennen, dass die Anlage ein sehr gutes Teillastverhalten aufweist. Sogar bei 7 kW, also bei weniger als 35 % Auslastung, ist der Wirkungsgrad noch gleich gut wie im Volllastbetrieb. Bei einem Teillastbetriebspunkt mit über 7 kW Wirkleistungsabgabe ist der Wirkungsgrad sogar besser als im Volllastbetrieb.

Es ist deshalb besser, die Anlage in Teillast zu betreiben, anstatt sie ganz abzuschalten. Als weiteres kommt hinzu, dass für eine automatische Wiederinbetriebnahme ein zusätzlicher Antrieb benötigt würde, damit der Strahlablenker angehoben werden kann. Zudem ist die Wasserspeicher-Kapazität in der Druckleitung und im Entsander sehr gering, was dazu führen würde, dass die Anlage sehr oft ein und ausschaltet.

2.3.10 Leistungsfaktor

Nach angaben des EWO muss der Leistungsfaktor im Monats-Mittel mindestens 0.5 betragen. Laut Messungen aus dem Modul „Industrieprojekt“ sieht der Verlauf des Leistungsfaktors der Anlage folgendermassen aus:

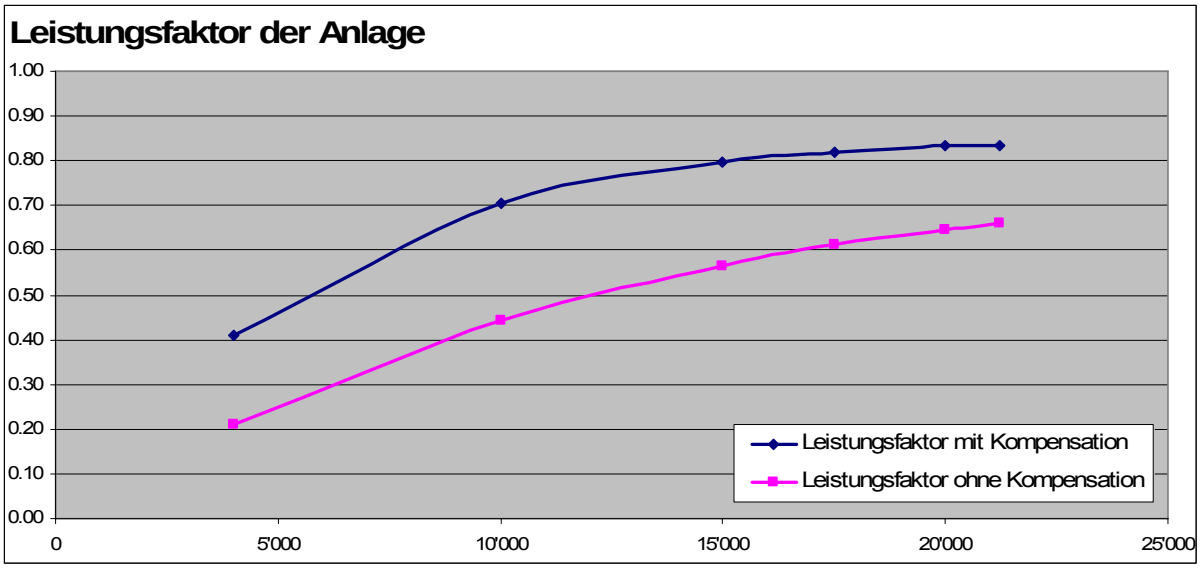


Abbildung 2-10: Leistungsfaktor der Anlage

Unterhalb einer Leistung von ca. 6 kW, wird der Leistungsfaktor kleiner als 0.5. Der kleinste Betriebspunkt in dem das Kraftwerk laut Pflichtenheft noch arbeiten muss, ist 4 kW. Wenn davon ausgegangen wird, dass dieser Betriebpunkt nur selten oder zumindest nur für kurze Zeit eintrifft, ist es kein Problem im Mittel einen Leistungsfaktor von 0.5 zu erreichen.

2.4 Besichtigung Trinkwasserkraftwerk Stockenmatt

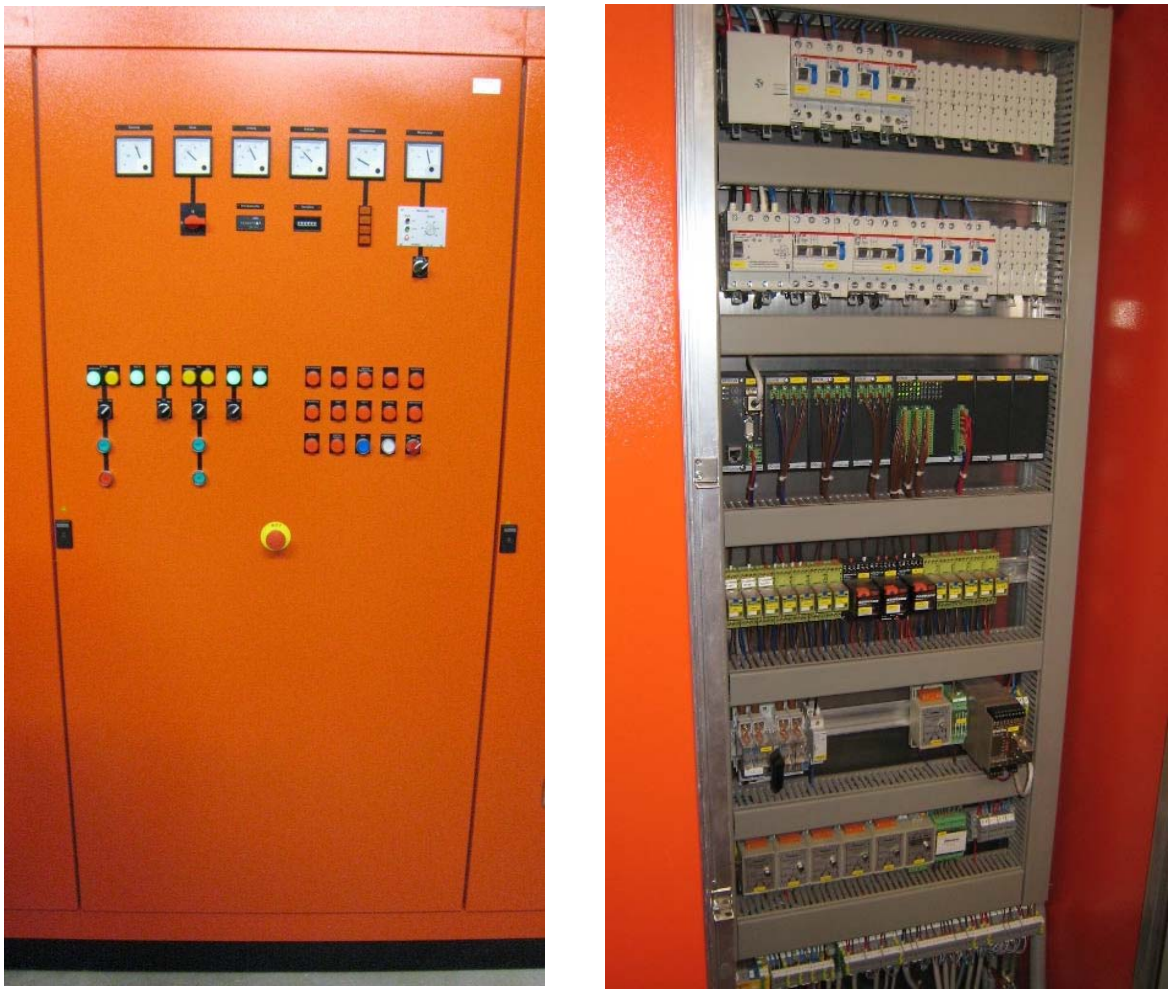


Abbildung 2-11: Kraftwerk Stockenmatt Steuerschrank

Das Trinkwasserkraftwerk Stockenmatt der Gemeinde Sarnen besitzt eine Pegelstandregelung. Der Wasserpegel wird über einen Drucksensor in der Wasserfassung erfasst. Dadurch ist es möglich den Pegel sehr genau zu regeln. Da nebst der Druckleitung ein Leerrohr beim Bau eingelegt wurde, konnte das Signalkabel des Drucksensors mit geringem Aufwand von der Wasserfassung zum Maschinenhaus verlegt werden.
Zur Anzeige von Generatorstrom, Generatorspannung, Wirkleistung usw. dienen analoge Anzeigeinstrumente am Schaltschrank.

Die gesamte Anlage kann durch die integrierte SPS über einen Computer fernüberwacht und bequem ferngesteuert werden. Auch die Visualisierung der Produktionsdaten erfolgt direkt auf dem PC.
Die Überwachung der erforderlichen Grössen wie Netzspannung, Über- und Unterfrequenz, Rückspeisung usw. erfolgt über separate Relais.

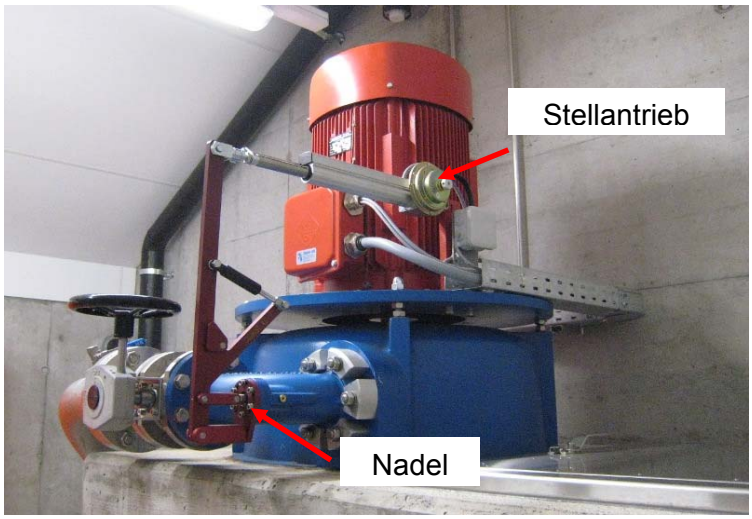


Abbildung 2-12: Kraftwerk Stockenmatt Generator und Turbine

Die Nadel der Düse wird über einen Hebel verstellt, welcher von einem Stellantrieb bedient wird.

2.5 Erkenntnisse und Ausblick

Die Initialisierungsphase hat auf breiter Basis ein gutes Fundament gelegt. Der Anlagenbesitzer hat die Rahmenbedingungen aus seiner Sicht festgelegt. Zusammen mit der Aufgabenstellung und den gesetzlichen Bestimmungen inklusive Sicherheitsfunktionen, ist der Handlungsspielraum des Projekts festgelegt.
Bereits jetzt ist anhand der Recherche und Analyse ersichtlich, welche Teilsysteme für die Kraftwerkanlage geeignet sind. Die Besichtigung des Trinkwasserkraftwerks Stockenmatt hat zudem gezeigt, dass sich die Recherchearbeit mit Teilsystemen beschäftigt hat, welche bei bereits erstellten Anlagen im Einsatz stehen.

Ausblickend ist zu erwähnen, dass aufgrund der erhaltenen Erkenntnisse eine Übersicht der untersuchten Teilsysteme zu erstellen ist. Zudem ist die allgemeine Systemstruktur der Steuerung und Regelung in schematischer Art darzustellen, damit die grundlegende Struktur ersichtlich wird.

Lucerne University of
Applied Sciences and Arts
HOCHSCHULE
LUZERN
Engineering & Architecture

Kapitel 3

Konzeptphase

Verfasser
Tobias Burch
Silvan Gisler

3 Konzeptphase

In der Konzeptphase werden die möglichen Lösungsvarianten aus der Recherche zu einem Morphologischen Kasten zusammengefasst. Anschliessend werden die Strukturen einzelner Teilsysteme analysiert. Dies ist sehr hilfreich, um später sinnvolle Kombinationen für Gesamtkonzepte machen zu können. Die allgemeine Systemstruktur wird erstellt, damit das Grundkonzept der Steuerung und Regelung schnell ersichtlich wird.

3.1 Morphologischer Kasten

Teilproblem	Teillösungen							
	1.1		1.2		1.3			
Steuerung		SPS		Relais		Computer		
	2.1		2.2		2.3		2.4	
Anzeigeinstrumente		Digitale Anzeigeinstrumente		Analoge Anzeigeinstrumente		Analoge und Digitale Anzeigeinstrumente kombiniert		Multifunktionsgerät
	3.1		3.2		3.3		3.4	
Regelung		SPS		Computer		Motorkontroller		Elektronik Eigenbau
	4.1		4.2		4.3			
Nadel verstellen		DC Motor		AC-Motor		Schrittmotor		
	5.1		5.2					
Wasserstand ermitteln		Drucksensor im Maschinenraum		Sensor beim Entsander				
	6.1		6.2		6.3		6.4	
Datenaufzeichnung		Computer		Laptop		SPS		PDA
	7.1		7.2					
Energie zuführen		Öffentliches Verbundnetz		Akkumulator				

Abbildung 3-1: Morphologischer Kasten

3.2 Systemstruktur

Das folgende Bild zeigt, wie das Gesamtsystem der Steuerung und Regelung prinzipiell aufgebaut sein soll.

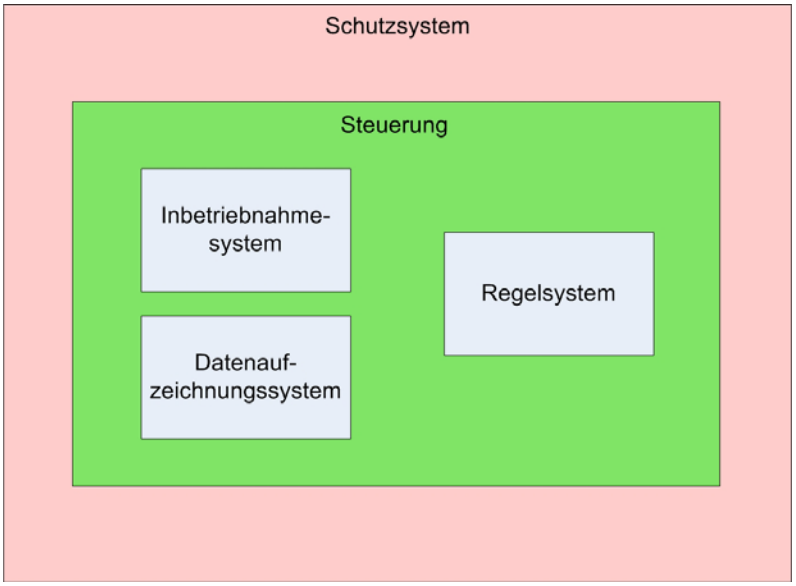


Abbildung 3-2: Gesamtsystem Steuerung und Regelung

Das Schutzsystem ist allen anderen Funktionen überlagert. Nur wenn bei diesem alles in Ordnung ist, kann die Anlage in Betrieb genommen und optional das Regelsystem aktiviert werden. Auch das Datenaufzeichnungssystem funktioniert nur, wenn das Schutzsystem die Freigabe dafür gibt.

Die Steuerung der Düse muss auch bei einer Fehlerauslösung betrieben werden können, sofern es sich nicht um einen Not-Aus- oder Netzspannungsfehler handelt.

Nachfolgend sind die einzelnen Teilsysteme kurz erklärt und deren Funktion visualisiert.

3.2.1 Schutzsystem

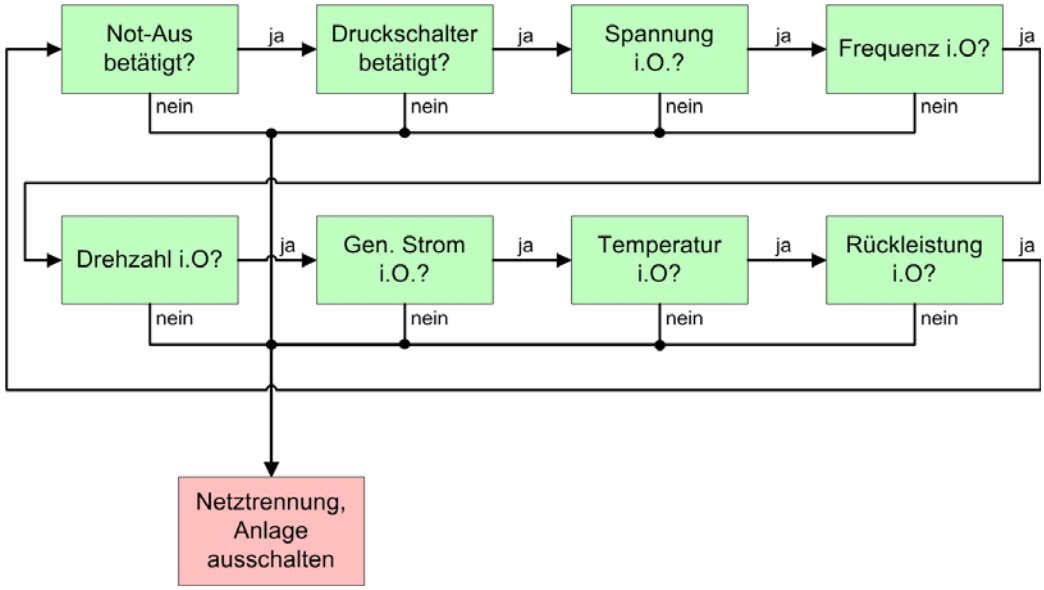


Abbildung 3-3: Schutzsystem

Diese Schlaufe ist allen Funktionen des Kraftwerks überlagert. Sobald eine dieser Funktionen anspricht, wird die Anlage ausgeschaltet, egal ob sich das Kraftwerk im Hand- oder im Regelbetrieb befindet. Diese Schlaufe darf aber nicht als zeitlicher Ablauf interpretiert werden. Die einzelnen Blöcke können als abgeschlaufte Relais angesehen werden. Sobald eines dieser Relais anspricht, wird die Schlaufe unterbrochen.

3.2.2 Inbetriebnahmesystem

Um die Anlage nach einer Abschaltung neu in Betrieb zu nehmen, wird folgendes Vorgehen verlangt:

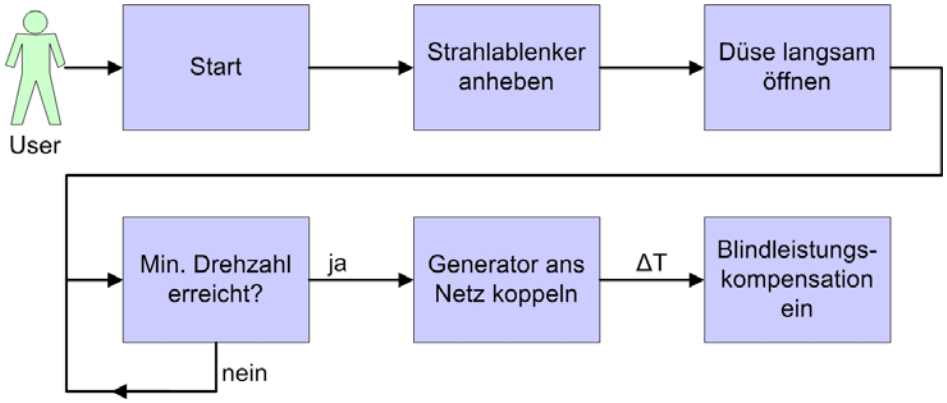


Abbildung 3-4: Inbetriebnahmesystem

Dem Startvorgang ist die Schutzschlaufe überlagert. Sie kann zu jedem Zeitpunkt eingreifen und somit den Inbetriebnahmevorgang unterbrechen.

3.2.3 Regelsystem

Das Grundprinzip der Pegelstandsregelung sieht stark vereinfacht also folgendermassen aus:

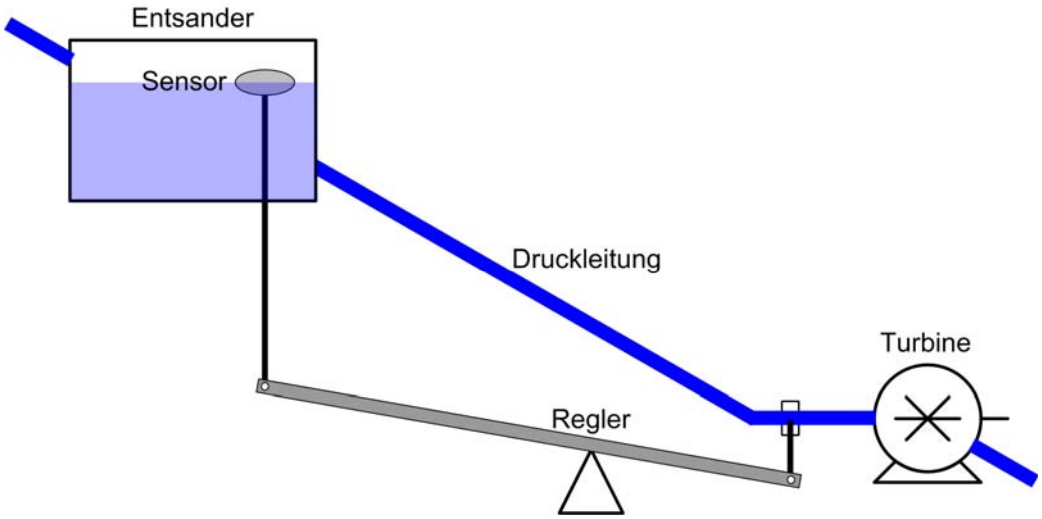


Abbildung 3-5: Grundprinzip der Pegelstandsregelung

Sinkt im Entsander der Wasserpegel, so muss die Düse so weit geschlossen werden, dass der Pegel wieder dem Soll-Wert nähert. Dies kann zum Beispiel durch Antreiben des bereits bestehenden Handrades geschehen.

3.3 Erkenntnisse und Ausblick

Die im morphologischen Kasten stehenden Teillösungen gewähren einen sehr guten Überblick der möglichen Lösungsvarianten. Die Systemstruktur gibt des Weiteren den nötigen Einblick in die grundlegende Funktionsweise der Steuerung und Reglung.

Lucerne University of
Applied Sciences and Arts
HOCHSCHULE
LUZERN
Engineering & Architecture

Kapitel 4

Systementwurf

Verfasser
Tobias Burch
Silvan Gisler

4 Systementwurf

In diesem Kapitel werden aus dem Morphologischen Kasten mögliche Gesamtkonzepte erstellt. Es ist besonders darauf zu achten, dass dabei die einzelnen Teilsysteme dabei auch gut zusammenspielen und somit sinnvolle Kombinationen bilden.
Anschliessend werden die Gesamtkonzepte kurz erläutert und bewertet. Schlussendlich wird das für die Anlage am besten passende Konzept ausgewählt und weiter ausgearbeitet.

4.1 Gesamtkonzepte

4.1.1 Morphologischer Kasten mit Gesamtkonzepten

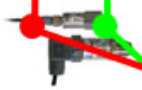
Teilproblem	Teillösungen			
	1.1	1.2	1.3	
Steuerung	SPS	Relais	Computer	
	2.1	2.2	2.3	2.4
Anzeigeinstrumente	Digitale Anzeigeinstrumente	Analoge Anzeigeinstrumente	Analoge und Digitale Anzeigeinstrumente kombiniert	Multifunktionsgerät
	3.1	3.2	3.3	3.4
Regelung	SPS	Computer	Motorkontroller	Elektronik Eigenbau
	4.1	4.2	4.3	
Nadel verstellen	DC Motor	AC-Motor	Schrittmotor	
	5.1	5.2		
Wasserstand ermitteln	Drucksensor im Maschinenraum 	Sensor beim Entsander		
	6.1	6.2	6.3	6.4
Datenaufzeichnung	Computer	Laptop	SPS	PDA
	7.1	7.2		
Energie zuführen	Öffentliches Verbundnetz	Akkumulator		

Abbildung 4-1: Morphologischer Kasten mit Gesamtkonzepten

4.1.2 Konzept rot

Das Konzept rot sticht besonders durch die sehr gute Bedienbarkeit und die grosse Funktionalität hervor. Nachteilig hingegen ist der grössere Aufwand.
Durch die Programmierbarkeit der SPS zieht dies ein grösserer zeitlicher Aufwand mit sich, da die Funktionalität per Software erstellt werden muss. Zudem ist für die Visualisierung auf dem Display weiterer Programmieraufwand nötig. Jedoch überwiegen durch die erhöhte Funktionalität die sicherheitstechnischen Aspekte, was ein Mehraufwand rechtfertigt. Die SPS überwacht zusätzlich zu den Sicherheitsrelais den Betriebszustand der Kraftwerkanlage und greift bei unzulässigen Betriebszuständen sofort ein. Auf dem Display werden die Prozessdaten des Kraftwerks, wie Drehzahl, Druck, etc., dargestellt. Spannung und Strom des Generators werden auf einem Multifunktionsgerät angezeigt, da das Einlesen der Werte in die SPS zu viele Signalkonverter benötigt und somit die Kosten unnötig in die Höhe treiben würde.
Das Multifunktionsgerät gibt bei elektrischem Energiefluss pro kWh Impulse aus. Diese Impulse werden von der SPS erfasst und abgespeichert. Die gemessenen Energiewerte werden von der SPS verwaltet und auf dem Display angezeigt.
Die Regelungslogik wird in der SPS umgesetzt. Die Steuerung liest über die Analogbaugruppe den aktuellen Druck in der Druckleitung ein und übergibt je nach Bedarf die Stellbefehle an die Motorsteuerung. Der DC-Motor positioniert die Nadel der Düse auf die gewünschte Position.
Das öffentliche elektrische Verbundnetz wird zum Betreiben der Kraftwerkanlage benötigt. Bei der Inbetriebnahme der Anlage wird vorerst für den Betrieb der Steuerung Energie aus dem Netz bezogen. Sobald der Betriebspunkt für die Leistungsabgabe erreicht ist, wird der Generator ans Verbundnetz gekoppelt.
Änderungen und Erweiterungen der Steuerung und Regelung können nachträglich angebracht werden. Unter Umständen reicht es sogar nur die Software der SPS zu ändern, um die gewünschte Funktionsänderung vorzunehmen. Eine Verdrahtungsänderung wird somit nicht zur Notwendigkeit. Die Steuerung kann so programmiert werden, dass bestimmte Einstellwerte mittels Touch-Screen des Displays verändert werden können.
Betreffend den Kosten liegt dieses Konzept im Budget des Anlagenbesitzers. Eine vollständige Kostenübersicht befindet sich auf der CD unter Dokumentation / Dokumentationsdetails. Im Folgenden ist eine Zusammenstellung der Kosten aufgeführt.

Tabelle 4-1: Kostenübersicht Konzept rot

Kostenübersicht Konzept rot	**CHF**
SPS; Display; I/O-Baugruppen	2585.00
Regelung	1640.00
Diverses	3530.00
Total Konzept rot	**7755.00**

4.1.3 Konzept grün

Dieses Konzept besteht grundsätzlich auf der Basis einer Relaissteuerung. Die Anlage wird anhand von diversen Relais überwacht und bei gültigem Betriebszustand zum Betrieb freigegeben. Das Multifunktionsgerät zeigt die aktuellen Spannungs- und Stromwerte des Generators an. Nebst diesem Gerät signalisieren diverse Leuchten den aktuellen Betriebszustand der Anlage.
Ein intelligenter Motorkontroller mit digitalen und analogen Schnittstellen wird für die Regelung im Stand-Alone-Betrieb verwendet. Der aktuelle Druck in der Druckleitung wird über die Analogeingangsschnittstelle eingelesen. Je nach Messwert wird die Wasser-Durchflussmenge erhöht oder verringert. Ein DC-Motor verändert hierzu die Position der Nadel in der Düse.
Um die Energieproduktions-Daten aufzuzeichnen wird eine Elektronik eingebaut, welche mit einem Laptop über die serielle Schnittstelle kommunizieren kann. Die Daten werden nach Bedarf auf den Laptop übertragen und abgespeichert.
Die für die Inbetriebsetzung der Anlage benötigende elektrische Energie wird aus dem öffentlichen Verbundnetz entnommen. Die Energieabgabe des Generators erfolgt ins Verbundnetz.
Werden bei diesem Konzept nachträglich Änderungen oder Erweiterungen angebracht, so ist eine Verdrahtungsänderung fast unumgänglich. Höchstens eine Regelungsanpassung kann mittels Softwareänderung der Motorsteuerung vorgenommen werden. Jedoch muss bei einer Erweiterung praktisch nur der Hardware- und kein Softwareaspekt mitberücksichtigt werden.
Eine detaillierte Kostenübersicht befindet sich auf der CD unter Dokumentation / Dokumentationsdetails. Unten ist eine Kurzübersicht der Kosten aufgeführt. Die Gesamtkosten liegen im Rahmen des Budgets.

Tabelle 4-2: Kostenübersicht Konzept grün

Kostenübersicht Konzept grün	**CHF**
Regelung	1910.00
Diverses	4965.00
Total Konzept grün	**6875.00**

4.1.4 Bewertung Gesamtkonzepte

Tabelle 4-3: Bewertung Gesamtkonzepte

Kriterium		Gewichtung	Erfüllungsgrad		G x E	
		(1..10)	rot	grün	rot	grün
Sicherheit		10	9	8	90	80
Bedienerfreundlichkeit		8	8	6	64	48
Funktionalität		8	10	5	80	40
Änderbarkeit		6	9	6	54	36
Wartbarkeit		7	8	9	56	63
Aufwand	zeitlich	5	5	8	25	40
	technisch	6	7	8	42	48
Kosten		7	7	8	49	56
Erweiterbarkeit		5	9	5	45	25
Platzbedarf		3	7	6	21	18
Gesamt					**526**	**454**

4.1.5 Wahl Gesamtkonzept

Von den zwei erstellten Gesamtkonzepten wird nun das besser geeignete ausgewählt. Die Bewertung der Gesamtkonzepte drückt bereits zahlenmässig aus, dass über alles hinweg gesehen das Konzept rot die Favoritenrolle übernommen hat. Betrachtet man die Vor- und Nachteile der einzelnen Konzepte, so wird ersichtlich, dass für den Bediener der Anlage die Variante rot viel bedienerfreundlicher ist. Dies beruht darauf, dass die SPS in Verbindung mit einem Display sehr grosse Funktionalität aufweist. Diese Funktionalität zieht einen grösseren zeitlichen und technischen Aufwand mit sich. Betrachtet man zusätzlich den Sicherheitsaspekt, so rechtfertigt sich dieser Mehraufwand, denn die SPS bringt durch die Überwachungsmöglichkeit mehr Sicherheit mit ein.
Durch das, dass beim Konzept grün nur gerade das Regelungssystem eine Softwarekomponente aufweist, ist dieses einfacher wartbar. Ein möglicher Defekt ist somit praktisch immer auf einen Hardwaredefekt zurückzuführen. Bei der anderen Variante ist ein möglicher Softwarefehler ebenfalls zu berücksichtigen.
Das rote Gesamtkonzept bekommt zu den fest verdrahteten Funktionen hin noch zusätzlich durch die Software mehrere Funktionen hinzugefügt. Eine Erweiterung der Steuerung oder Regelung kann somit je nach Situation mit einer Hardwareänderung in Kombination mit einer Softwareänderung leicht erstellt werden.

Die Kosten der neuen Steuerung und Regelung liegen bei beiden Konzepten im budgetierten Rahmen. Betrachtet man die wichtigen Vorteile wie Sicherheit, Bedienerfreundlichkeit und Erweiterbarkeit der Variante rot, so ist die Wahl des Gesamtkonzeptes für diese Variante gut nachvollziehbar. Der Anlagenbesitzer bevorzugt ebenfalls diese Variante, da er besonders grossen Wert auf die Sicherheit und Bedienbarkeit legt.

4.2 Erkenntnisse und Ausblick

Aufgrund der Analyse der Teillösungen konnten aus dem morphologischen Kasten zwei gut zur Kraftwerkanlage passende Konzepte zusammengestellt und beschrieben werden. Die anschliessende Bewertung hat gezeigt, dass über Alles hinweg gesehen das rote Konzept überwiegt. Das Konzept grün ist betreffend den Kosten günstiger. Jedoch wird bei dieser Variante nicht dieselbe Sicherheit wie beim Konzept rot erreicht. Aufgrund der Sicherheits- und Bedienkomfortansprüchen wird vom Anlagenbesitzer trotz der höheren Kosten eine Ausarbeitung des roten Konzepts gewünscht.
Die Entscheidung für das Steuerungs- und Regelungskonzept ist nun gefallen. Im Folgenden muss die Detailausarbeitung der einzelnen Teillösungen bis hin zu deren Integration ins Gesamtsystem erfolgen.

Lucerne University of
Applied Sciences and Arts
HOCHSCHULE
LUZERN
Engineering & Architecture

Kapitel 5

Realisierungsphase

Verfasser
Tobias Burch
Silvan Gisler

5 Realisierungsphase

Bei der Realisierungsphase wird nun das beim Systementwurf gewählte Gesamtkonzept realisiert. Es werden vorerst geeignete Komponenten gewählt und dementsprechend die detaillierten Schemas und Pläne erstellt. Des Weiteren müssen Schnittstellenprobleme zwischen den einzelnen Komponenten gelöst werden. In einer weiteren Stufe wird das Material beschafft und anschliessend anhand der erstellten Pläne der Schaltschrank zusammengebaut. Parallel dazu wird die Software für die verschiedenen programmierbaren Komponenten implementiert. Während dem die ersten Tests der Steuerung durchgeführt werden, wird das Montagematerial zusammengestellt. Sobald alle Tests positiv abgeschlossen sind, wird der Einbau der neuen Steuerung und Regelung vor Ort vorgenommen. Als letztes der Realisierungsphase findet die Inbetriebsetzung statt.

5.1 Übersicht Steuerungs- und Regelungssystem

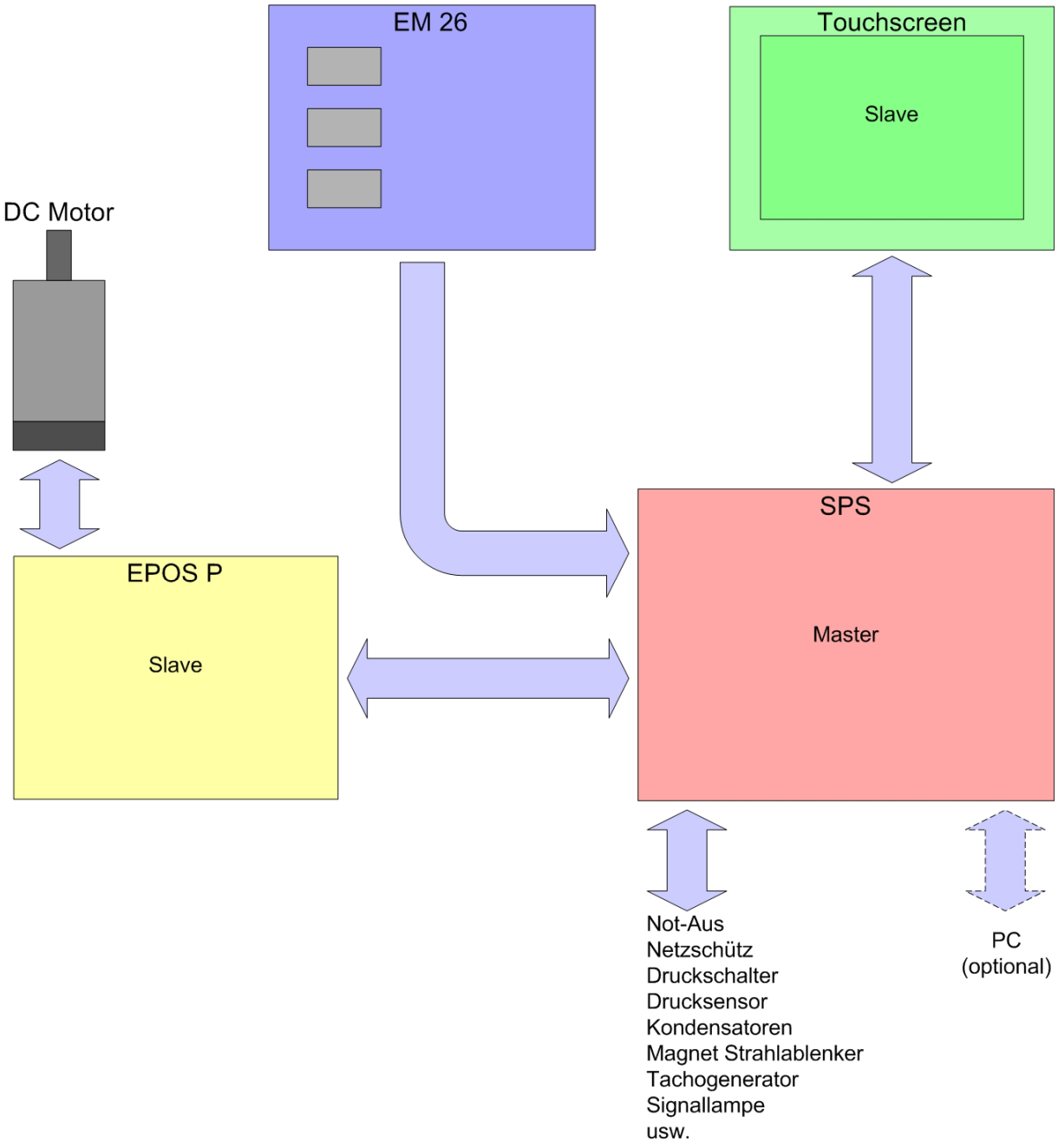


Abbildung 5-1: Übersicht Gesamtsystem

Eine Beschreibung der einzelnen Komponenten folgt im nächsten Kapitel.

5.2 Wahl und Beschreibung der Komponenten

Das Konzept für die Steuerung und Regelung ist festgelegt. Die Komponenten die für die Umsetzung des Konzepts benötigt werden, stehen bei vielen Herstellern im Angebot. Bei der Wahl der Komponenten respektive des Herstellers spielen bereits gesammelte Erfahrungen eine Rolle. Selbstverständlich steht aber die Qualität und Funktion der Komponenten bei der Wahl stets im Vordergrund. Da es viele Hersteller mit praktisch identischen Produkten gibt, könnten diverse Anfragen gestartet werden. Der Aufwand hierfür ist zu gross. Die Preise der verschiedenen Hersteller liegen bei den Industrieprodukten fast immer in derselben Grössenordnung. Deshalb erfolgt die Wahl der Produkte aufgrund von gesammelten Erfahrungen. Gerade bei der Beschaffung einer SPS spielt dieser Punkt eine essentielle Rolle, denn eine erneute Anschaffung einer Programmiersoftware entfällt somit.
Aufgrund der zahlreichen Angebote auf dem Markt entfällt ein grosser Vergleich verschiedener Produkte. Im Folgenden ist die Wahl des Herstellers bereits getroffen und die einzusetzende Komponente bereits bestimmt. Nun werden die gewählten Produkte kurz bezüglich ihrer wichtigen Eckpunkte und Einsatzart umschrieben. Datenblätter und Bedienungsanleitungen zu den jeweiligen Komponenten befinden sich auf der beigelegten CD. Es werden lediglich die Produkte erwähnt, welche schaltende oder anzeigende Funktionen aufweisen. Auf den Beschrieb von Komponenten wie z.B. Schaltschrank, Verbindungsklemmen, Leitungsschutzschalter, etc. wird verzichtet.

5.2.1 SPS Omron

Abbildung 5-2: SPS Omron

Die SPS CJ1M von Omron ist eine speicherprogrammierbare Steuerung, welche modular aufgebaut ist. Verschiedenste Ein- und Ausgangsbaugruppen können beliebig aneinandergereiht werden.
Die digitalen Ein- und Ausgänge arbeiten mit einer Spannung von 24 VDC. Die Ausgangsbaugruppe besitzt als Ausgangsstufen Transistoren. Deshalb muss bei der Ansteuerung von induktiven Lasten darauf geachtet werden, dass diese entstört sind. Nur so kann eine lange Lebensdauer der Ausgangsstufen bewerkstelligt werden.
Nebst den digitalen Ein- und Ausgänge wird eine analoge Baugruppe verwendet, damit das Drucksensorsignal eingelesen und das Stellsignal für die Motorsteuerung ausgegeben werden kann.

Bezüglich den Kommunikationsschnittstellen weisst die SPS diverse auf. Nebst der Programmierschnittstelle besitzt die SPS eine weitere Schnittstelle, welche zur Anbindung des Touchscreens dient. Ebenfalls ist eine Ethernet-Schnittstelle vorhanden. Diese kann zum direkten Adresszugriff verwendet werden. Von der Seite des Computers muss jedoch ein spezielles FINS-Protokoll implementiert sein, um mit der SPS kommunizieren zu können.

5.2.2 Touchscreen

Abbildung 5-3: Touchscreen

Der Touchscreen bildet das zentrale Objekt für die Bedienung der Anlage. Hier können alle wichtigen Informationen zum Zustand der Anlage abgelesen, diverse Parameter verändert und das Kraftwerk gesteuert werden.
Der Touchscreen selbst besitzt aber keine eigentliche Intelligenz. Es visualisiert lediglich die Daten, welche in der SPS verarbeitet werden. Mit Eingaben können Parameter, welche im Speicher der SPS vorhanden sind, verändert werden. Die Verbindung zur SPS geschieht über ein Bussystem.

5.2.3 EM26 Verbrauchsmesser und Leistungsanalysator

Abbildung 5-4: Multifunktions-Anzeigeinstrument

Das EM26 Power Analyzer von Carlo Cavazzi ist ein Multifunktions-Anzeigeinstrument. Es zeigt Phasenstrom, Spannung, Wirk-, Blind- und Scheinleistung an. Zudem gibt dieses Gerät pro kWh eine bestimmte Anzahl Impulse aus. Dies ermöglicht auf einfache Weise die produzierte elektrische Energie zu erfassen.

5.2.4 Antriebssystem für Düsenverstellung

Damit die mechanischen Änderungen an der Anlage gering gehalten werden, wird soviel wie möglich belassen. Somit erfolgt die Verstellung der Nadel noch immer über dieselbe Trapezspindel wie dies beim Handradbetrieb möglich war. Die Aufgabe ans Antriebssystem besteht nun darin, dass die Spindel kontrolliert in Drehbewegung versetzt wird.
Als Grundlage für die Auslegung des Antriebssystems muss vorerst das benötigende Drehmoment bestimmt werden. Dazu wird am Handrad der Düsenverstellung ein Stab in Radialrichtung zur Welle befestigt. Mit einer am Stab befestigten Federwaage wird die Welle in Drehbewegung versetzt. Die gemessene Kraft wird über den Angriffspunkt am Stab in ein Drehmoment umgerechnet. Das notwendige Drehmoment beträgt 0.7 Nm. Mit einer zusätzlichen Reserve wird das benötigte Drehmoment auf 1 Nm festgelegt. Die maximal zu fahrende Drehzahl beträgt 15 U/min. An das Antriebssystem werden keine hochdynamischen Ansprüche gestellt. Mit diesen Eckdaten kann die Antriebseinheit nun ausgelegt werden.

Tabelle 5-1: DC-Motor RE25

DC-Motor RE 25, Edelmetallbürsten CLL, 10 W		
Bestellnummer	118 746	
Nennspannung	24	V
Leerlaufdrehzahl	5’190	U/min
Nenndrehzahl	4’150	U/min
Nennmoment (Dauerdrehmoment max.)	28.8	mNm
Drehmomentkonstante	44	mNm/A

Tabelle 5-2: Planetengetriebe GP 26 B

Planetengetriebe GP 26 B		
Bestellnummer	144 046	
Untersetzung	231 : 1	
Dauerdrehmoment max.	1.8	Nm
Drehmoment kurzzeitig zulässig	2.7	Nm
Wirkungsgrad max.	49	%

Tabelle 5-3: Getriebeabgang

Getriebeabgang		
Leerlaufdrehzahl max.	22.5	U/min
Nenndrehzahl	18.0	U/min
Nennmoment theoretisch	3.3	Nm
Strombegrenzung	202.0	mA
Drehmoment mit Strombegrenzung	1.0	Nm

Die Strombegrenzung des Motors muss auf 202 mA gesetzt werden, da das Nenndrehmoment des Motors grösser ist, als für die Anwendung zulässig ist.

5.2.5 Maxon EPOS P

Abbildung 5-5: Maxon EPOS P

Die Motorsteuerung EPOS P von Maxon ist ein vollumfänglicher Motorkontroller mit diversen Schnittstellen. Die Schnittstellen umfassen digitale und analoge Ein- und Ausgänge und zudem eine CAN-Bus Schnittstelle.
Der Motorkontroller weisst verschiedenste bereits vordefinierte Betriebsmodi auf. Somit lässt sich ein dazu passender Motor mit relativ wenig Aufwand sicher und optimal betreiben.
Als weiteren sehr grossen Vorteil besitzt die Motorsteuerung einen PLC (Programmable Logical Unit). Dieser kann mittels einer Programmiersoftware individuell programmiert werden. Somit lassen sich z.B. anhand von verschiedenen Signalzuständen an den Ein- und Ausgängen des Kontrollers diverse Positionierungen vornehmen.

5.2.6 Maxon DC Motor

Für die Verstellung der Trapezspindel respektive der Nadel, wird ein DC-Motor von Maxon eingesetzt. Der RE-25 Motor mit einer Leistung von 10 W besitzt am Wellenabgang ein dreistufiges Planetengetriebe vom Typ GP 26 B mit einer gesamthaften Untersetzung von 231:1. Da der DC-Motor ein für das Getriebe zu hohes Drehmoment aufweisst, muss der Motorenstrom begrenzt werden.
Die Auslegung des Getriebemotors kann aus dem Anhang entnommen werden.

5.2.7 Schütz

Abbildung 5-6: Schütz

Bei der Auswahl des Leistungsschütz für die Kopplung des Generators ans elektrische Energieversorgungsnetz, muss der 24-Stundenbetrieb mitberücksichtigt werden. Das heisst, die Komponenten müssen für eine grössere Leistung ausgelegt werden als in Realität notwendig ist. Deshalb wird der Koppelschütz mit einem Nennstrom pro Kontakt von 62 A gewählt. Wenn das Kraftwerk im Volllastbetrieb arbeitet, so beträgt der Strom 37 A pro Polleiter. Der Schütz ist somit weniger als zweidrittel ausgelastet.
Für die Zuschaltung der Dreiphasenkondensatoren zur Blindleistungskompensation wird von denselben Kriterien ausgegangen, wie dies bei der Wahl des Koppelschütz der Fall war. Der Strom bei den Dreiphasenkondensatoren mit einer Blindleistung von gesamthaft 10 kvar beträgt 14.4 A pro Polleiter. Zur Zuschaltung der Kondensatoren wird ein Schütz mit einem Nennstrom pro Kontakt von 24 A gewählt.

5.2.8 Relais

Abbildung 5-7: Relais

Die Relais für das Schalten von Schütz und Signalleuchte haben bereits eine Löschdiode integriert. Diese ist notwendig, da die Relais direkt von der SPS-Ausgangsbaugruppe geschalten werden. Die SPS-Ausgänge sind mit Transistorstufen aufgebaut, welche bei Spannungen von über 30 VDC zerstört werden. Beim Ausschalten des Relais wird die in die Relaisspule induzierte Spannung über der Diode kurzgeschlossen. Somit liegt beim Ausschaltvorgang am Digitalausgang der SPS nie eine hohe Rückspannung an.

5.2.9 Überwachungsrelais

Abbildung 5-8: Überwachungsrelais

Besonders grosse Beachtung muss bei der Auswahl der Überwachungsrelais gelegt werden. Diese übernehmen eine sehr wichtige Aufgabe am gesamten Steuerungskonzept. Spricht eines der Überwachungsrelais an, so muss die Kraftwerkanlage sofort ausschalten. Hierbei ist zu beachten, dass die Relais in spannungslosem Zustand einen Fehler signalisieren. Ansonsten wird bei Ausfall eines Überwachungsrelais kein Fehler detektiert und die Anlage läuft in fehlerhaftem Zustand weiter.
Grosse Beachtung muss nicht nur bei der Wahl der Relais geschenkt werden, sondern auch beim zeichnen des Schemas. Wenn die Überwachungsrelais nicht korrekt verdrahtet werden, so können diese ihrer Funktion nicht getreu werden.
Des Weiteren muss darauf geachtet werden, wie gross die Ansprechschwellen der Relais sind. Die Ansprechschwellen bei Abweichung vom eingestellten Sollwert dürfen nicht grösser sein als der maximal zulässige Betriebspunkt der Anlage es erlaubt.

5.2.10 Drucksensor

Abbildung 5-9: Drucksensor

Der Drucksensor SEN-3376 B085 von Kobold arbeitet mittels der Zweileitertechnik. Das heisst, über die Spannungsversorgungsanschlüsse erfolgt zugleich die Ausgabe des gemessenen Druckes in Form eines Stromssignals von 4 bis 20 mA. Diese Technik ist möglich, da der Sensor zur Selbstversorgung einen Strom von weniger als 4 mA benötigt. Das gute am Stromsignal ist, dass der Spannungsabfall der Signal- respektive Speiseleitung keine Störgrösse darstellt.
Dieser Sensor weisst eine ausgezeichnete Wiederholgenauigkeit von 0.05 % auf. Sensoren anderer Hersteller weisen in dieser Genauigkeitsklass von 0,5 meistens eine Wiederholgenauigkeit von 0,1 % auf. Für das Druckmessproblem bei der Wasserkraftwerkanlage, ist es sehr wichtig, eine sehr gute Reproduzierbarkeit zu haben. Nur so kann der Wasserstand im Entsander genügend genau ermittelt werden. Es ist grundsätzlich nicht wichtig zu wissen ob der Druck 13,0 bar oder 12,9 bar beträgt. Der Druckwert ist beim Einbau des Sensors mit der Anlage abgeglichen worden. Was jetzt zählt, ist die Detektierung der Druckänderung respektive der Änderung des Wasserstandes im Entsander. Dank der guten Wiederholgenauigkeit kann eine Veränderung des Pegelstandes sehr gut ermittelt werden.

5.3 Materialkosten

Der Anlagenbesitzer ist bezüglich den Investitionskosten eingeschränkt. Damit die Kosten bei der Realisation der neuen Steuerung und Regelung nicht aus dem Ruder laufen, wird nachfolgend das zu benötigende Material und die dazugehörigen Kosten aufgelistet. Kleinere Kostenpunkte wie z.B. Aderendhülsen, Schrauben, etc. sind als Sammelbetrag zusammengefasst notiert. Die erbrachten Arbeitsstunden sind nicht erfasst, jedoch sind die Kosten des Rohmaterials festgehalten.

Tabelle 5-4: Material und Kostenzusammenstellung

Pos.	Stk.	Art.-Nr.	Lieferant	Bezeichnung	CHF	CHF
10	1	1055500	Rittal	AE Kompakt-Schaltschrank	172.80	172.80
20	1	3321207	Rittal	SK Austrittsfilter	26.30	26.30
30	1	3321200	Rittal	SK Filterlüfter	78.20	78.20
40	1	3110000	Rittal	SK Temperaturregler	37.40	37.40
50	1	EM26-96.AV5.3.H.O3	Cavazzi	EM26-96.AV5.3.H.O3.XX.XX	152.35	152.35
60	1	DFB01CM24	Cavazzi	DFB01CM24	152.35	152.35
70	1	DPB01CM48	Cavazzi	DPB01CM48	127.60	127.60
80	3	TA mini 50	Optec	Stromwandler 50A	25.00	75.00
90	1	J7KN-62230	Omron	Schütz 62A, 230V Spule	158.25	158.25
100	1	J7TKN-D65	Omron	Thermorelais 65A	88.50	88.50
110	3	J73KN-B-10	Omron	Hilfskontakt Front 1S	2.90	8.70
120	3	J74KN-B-VG230	Omron	Varistor zu Schütz 62A	13.65	40.95
130	1	J7KN-24230	Omron	Schütz 24A, 230V Spule	52.50	52.50
140	1	CJ1W-ID211(SL)	Omron	16 Eingänge, 24VDC	127.50	127.50
150	1	CJ1W-OD211(SL)	Omron	16 Ausgänge, 24VDC	161.25	161.25
160	1	CJ1W-MAD42(SL)	Omron	Analog 4E/2A	442.50	442.50
170	1	CJ1M-CPU11-ETN	Omron	CPU, 160E/A, 32kW	311.25	311.25
180	1	NS5-TQ00-V2	Omron	HMI NS5	892.50	892.50
190	1	S8VS-06024	Omron	Netzteil 60W, 24VDC, 2.5A	105.00	105.00
200	1	K8AB-VW2 24VDC	Omron	Spannungswächter	96.75	96.75
210	6	MY2N-D224VDC(S)	Omron	Relais 24VDC-Spule (Diode)	11.15	66.90
220	6	PYF08S	Omron	Socket für MY2	6.20	37.20
230	6	PYCM-08S	Omron	Clip	0.45	2.70
240	3	HL-5000	Omron	Endschalter	30.00	90.00
250	1	A-SL-BM	Troller AG	Basismodul	29.60	29.60
260	1	A-SL-F100	Troller AG	Standfuss zu Signalsäule	25.20	25.20
270	1	A-SL-FW	Troller AG	Signalsäule Bef.-Winkel	21.00	21.00
280	1	A-SL-Y	Troller AG	Signalsäule Dauerlicht gelb	42.00	42.00
290	1	A-SLG230	Troller AG	Glühlampe 230V/6W	4.30	4.30

300	2	E-N63X	Troller AG	Neutralleitertrenner 63A	4.95	9.90
310	1	E 316CX	Troller AG	LS-Schalter 3x16A träge	29.00	29.00
320	2	E 306CX	Troller AG	LS-Schalter 3x6A träge	33.45	66.90
330	1	E 363CX	Troller AG	LS-Schalter 3x63A träge	71.00	71.00
340	1	A-PV	Troller AG	Not-Aus-Taste	24.75	24.75
350	1	A-K10	Troller AG	Kontaktelement Schliesser	4.20	4.20
360	1	A-K01	Troller AG	Kontaktelement Öffner	4.20	4.20
370	1	A-A	Troller AG	Befestigungsadapter Front	2.00	2.00
380	1	3276 B085	Kobold	Drucksensor	332.00	332.00
390	1	17113400	Mädler	HTD-Zahnriemen 312mm	6.70	6.70
400	2	17024400	Mädler	Zahnscheibe 3M	25.70	51.40
410	1		V-ZUG AG	Motorsupport	175.00	175.00
420	1		V-ZUG AG	Deckel	110.00	110.00
430	1		V-ZUG AG	Läufer	75.00	75.00
440	1	323232	maxon	EPOS P	565.00	565.00
450	1	118746	maxon	RE25, 10W	112.00	112.00
460	1	110512	maxon	HEDL 500	52.00	52.00
470	1	144046	maxon	GP26B 231:1	265.00	265.00
480	32	3004362	Phoenix	UK 5 N	1.50	48.00
490	4	3004388	Phoenix	UK 5 N BU	1.50	6.00
500	14	0441504	Phoenix	USLKG 5 N	4.70	65.80
510	6	3006043	Phoenix	UK 16 N	3.15	18.90
520	1	3006056	Phoenix	UK 16 N BU	3.15	3.15
530	4	0443023	Phoenix	USLKG 16 N	6.80	27.20
540	1	0442020	Phoenix	Endhalter	0.80	0.80
550	1		InHouse	Kabel	120.00	120.00
560	1		InHouse	Aderendhülsen	14.00	14.00
570	1		Self	C-Schiene	12.00	12.00
580	1		Self	DIN-Schiene	36.00	36.00
590	1		Self	BMK	15.00	15.00
600	1		Self	Kabelverschraubung	22.00	22.00
610	1		InHouse	C-Schiene	12.00	12.00
620	1		InHouse	Support-Rohr	45.00	45.00
630	1		InHouse	Endschalterplatte	24.00	24.00
640	1		InHouse	Hebelverlängerung	18.00	18.00
650	1		Self	Lackspray	11.90	11.90
660	1		InHouse	Diverse Schrauben	37.00	37.00
670	1		InHouse	Kabel	85.00	85.00
680	1		InHouse	Diverses	300.00	300.00
						6'504.35

Die Gesamtkosten des Materials belaufen sich auf rund CHF 6'500.-. Dieser Betrag liegt laut der in Kapitel 4.1.2 berechneten Kostenübersicht rund CHF 1'200 darunter. Dies ist deswegen, da die Hersteller zum Teil grosszügigen Rabatt für Produkte gewähren, welche für Diplomarbeiten eingesetzt werden.

5.4 Schnittstellen

Die SPS bildet das zentrale Objekt des gewählten Lösungskonzepts. Sämtliche Signale werden von der SPS empfangen, verarbeitet und ausgegeben.

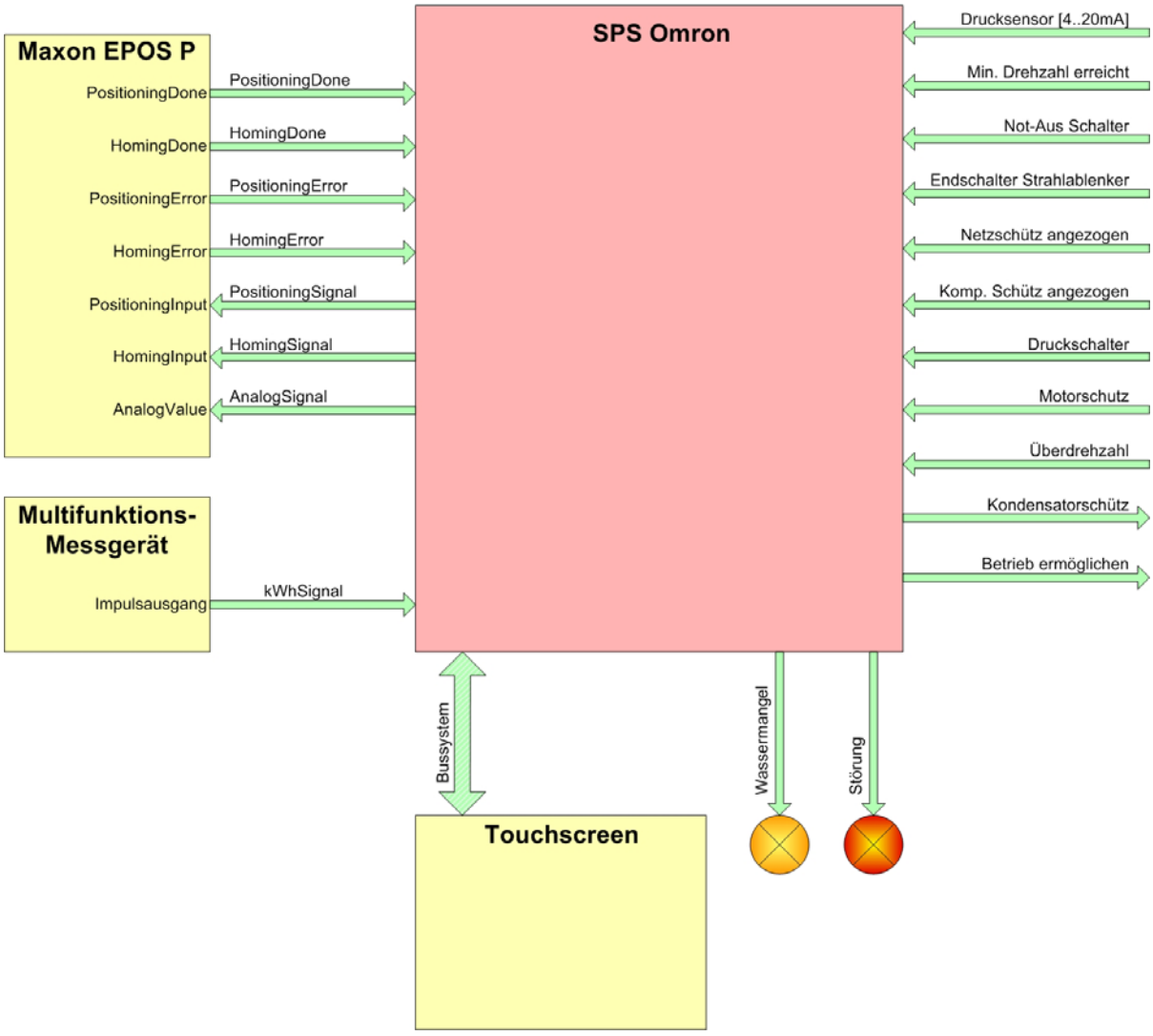


Abbildung 5-10: Schnittstellen der SPS

5.4.1 Verbindung zu EPOS P

Die Epos P bekommt von der SPS ein analoges Stellsignal. Da die Berechnung des Regelalgorithmus in der SPS erfolgt, entspricht das Signal von 0 bis 5 V direkt der anzufahrenden Stelle von 0 bis 27 Umdrehungen.

- 0 V entsprechen 0 Umdrehungen bzw. voll geschlossene Düse
- 5 V entsprechen 27 Umdrehungen bzw. voll geöffnete Düse

Ob der Motor fahren soll oder nicht, wird über ein digitales Signal bekannt gegeben, dem „Positioning“ Signal. Ist es auf TRUE (Logisch 1) darf der Motor an die vom analogen Signal vorgegebene Stelle drehen. Wird das Signal auf FALSE gesetzt, muss der Motor sofort stehen bleiben auch wenn er noch nicht an seiner Zielposition angekommen ist.
Wenn der Motor seine Zielposition erreicht hat, wird dies über ein digitales Signal angezeigt (PositioningDone). Ist das Signal TRUE, hat der Motor ohne Fehler seine Zielposition erreicht und das „Positioning“-Signal kann von der SPS wieder auf FALSE gesetzt werden.
Erreicht der Motor aus irgendeinem Grund seine Zielposition nicht, wird dies mit dem „PositioningError“-Signal angezeigt.

Wenn der Motor nicht referenziert ist, kann über das „Homing“-Signal eine Referenzierung gestartet werden. Es wird dann eine so genannte Homing-Prozedur durchgführt. Wenn der Motor referenziert ist, wird dies über das Signal „HomingDone“ der SPS bekannt gegeben.

5.4.2 Signalschnittstellen

Damit die Komponenten untereinander auf die jeweiligen Signalzustände reagieren, müssen zum Teil Anpassschaltungen realisiert werden. So wurde dies bei den Digitalausgängen des Motortreibers EPOS P notwendig. An der SPS muss für die Erkennung eines High-Flags (logisch 1) am Digitaleingang mindestens eine Spannung von 8.8 VDC anliegen und ein Strom von 3 mA fliessen. Die EPOS P jedoch kann nur ein 5 VDC Signal ausgeben. Deshalb müssen die Ausgänge der Motorensteuerung in „Sink-Schaltung“ betrieben werden und die Eingänge der SPS über Pull-Up Widerstände auf 24 VDC gelegt werden.

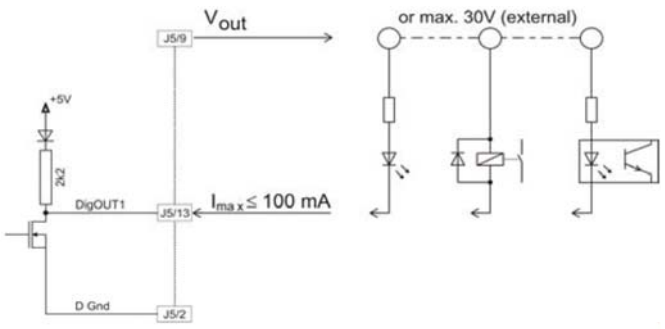


Abbildung 5-11: Signalschnittstelle Maxon EPOS P

Wenn die Motorensteuerung den Ausgang nicht aktiviert hat, liegt am Eingang der SPS 24 VDC an. Sobald der Ausgang der Motorensteuerung aktiviert ist, wird die Spannung am SPS-Eingang auf 0 VDC gezogen und die SPS erhält ein Low-Flag (logisch 0). Die Logik zwischen Motorensteuerung und SPS ist somit invertiert.

Leitungen mit Analogwert-Signalen sind mit abgeschirmten Kabeln realisiert. Das zu übertragende Analogsignal ist somit besser vor Störsignaleinkopplungen geschützt.
Der Tachogenerator, welcher die Drehzahl der Maschinenwelle misst, gibt eine DC-Spannung in Abhängigkeit der Drehzahl aus. Die Schwellenwerte für das Ansprechen von Über- resp. Unterdrehzahl müssen eingestellt und somit das gesamte Drehzahlüberwachungssystem abgestimmt werden.
Der Drucksensor gibt ebenfalls ein Analogsignal aus. Dieses ist im Gegensatz zum Tachogenerator aber ein Stromsignal. Der Strom, welcher vom Sensor ausgeben wird, fliesst direkt über den Analogeingang der SPS.

5.5 Elektroschema

Um eine Steuerung aufzubauen, ist ein korrekt und sauber erstelltes Elektroschema wichtig. Besonders zu einem späteren Zeitpunkt entpuppt sich ein Schema als sehr nützliches Dokument. Eine Störungssuche ist ohne Elektroschema sehr aufwändig und kaum vorstellbar. Bereits beim Erstellen des Schemas ist auf einen logischen Aufbau zu achten. Es ist sehr hilfreich wenn grundsätzlich Leistungs- und Steuerkomponenten separiert sind. Diese Unterscheidung zieht sich hindurch bis zur Wahl der Leiterfarbe. So ist auch im verdrahteten Zustand schnell ersichtlich, was sich auf den Leistungs- und was auf den Steuerkreis bezieht.

Bei der Erstellung des Elektroschemas wird auf die Komponentenwahl zurückgegriffen. Die Ausgewählten Komponenten werden mittels Datenblätter unersucht und im Elektroschema eingezeichnet.
Die Verdrahtung der einzelnen Komponenten und die Funktionseinstellungen der Überwachungsrelais sind für die Programmierung der SPS wichtig. Ansonsten wird bei der Programmerstellung von falschen logischen Zuständen ausgegangen.

Das erstellte Schema befindet sich im Anhang 3 und auf der beigelegten CD unter Dokumentation.

5.6 Programm auf Maxon EPOS P

Die Programmierung auf dem Motortreiber EPOS P erfolgt nach der Norm IEC 61131 als Strukturierter Text (ST).
Die nachfolgende Abbildung zeigt die Struktur des Programms. Die Prozesse „Eingänge lesen“, „Referenzierung“, „Positionierung“, und „Ausgänge schreiben“ werden parallel abgearbeitet und immer wiederholt.

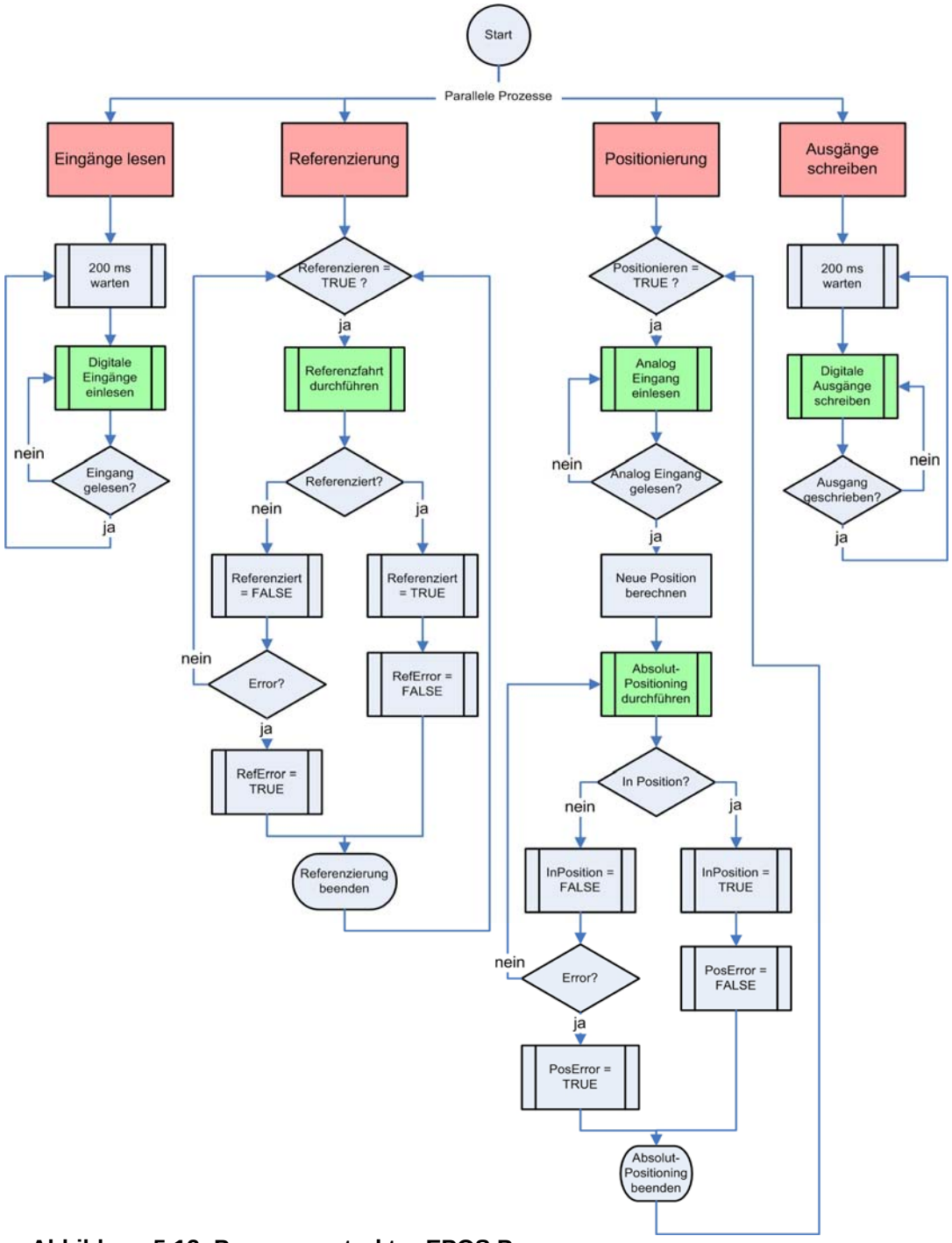


Abbildung 5-12: Programmstruktur EPOS P

Anschliessend werden die Funktionen der verwendeten Funktionsblöcke erläutert. Der gesamte Source-Code, sowie die detaillierte Beschreibung der verwendeten Funktionsblöcke befinden sich auf der beigelegten CD unter Maxon_EPOS_P / Programm.

5.6.1 Digitale Eingänge einlesen

Die digitalen Eingänge können mit dem von Maxon vordefinierten Funktionsblock MU_GetAllDigitalInputs eingelesen werden. Wie in der oberen Programmstruktur zu sehen war, wird dieser Funktionsblock alle 200 ms ausgeführt.

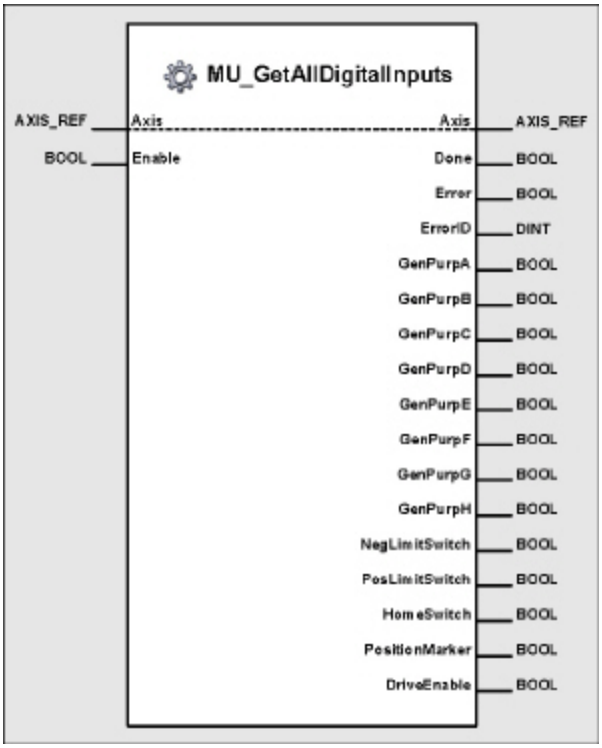


Abbildung 5-13: Funktionsblock MU_GetAllDigitalInputs

Um den Funktionsblock auszuführen wird auf den Eingang „Axis“ die Achsennummer und auf den Eingang „Enable“ ein TRUE (Logisch 1) geschrieben. Wurde der Funktionsbock erfolgreich beendet, liegt am Ausgang „Done“ ein TRUE an. Dann können über die Variablen GenPurpA, GenPurpB usw. die einzelnen Eingänge gelesen werden. Die Namen GenPurp… bedeuten General Purpose und stehen zur freien Verfügung. Die anderen Eingänge sind bereits belegt.

5.6.2 Referenzfahrt durchführen

Um eine Referenzfahrt durchzuführen, wird der Funktionsblock MC_Home verwendet. Ein Aufruf dieses Funktionsblocks führt dazu, dass der Motor sich in eine vordefinierte Richtung dreht, bis der Referenzierungsschalter betätigt wird. Danach weiss die Logik, dass der Stellmotor sich an der am Eingang vorgegebenen Stelle „Position“ befindet.

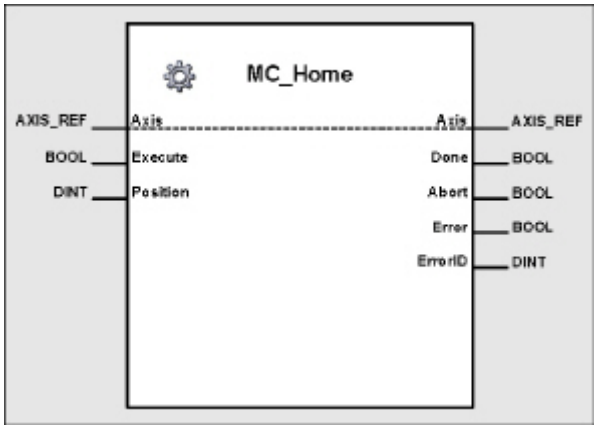


Abbildung 5-14: Funktionsblock MC_Home

Die Ausführung erfolgt gleich wie beim Funktionsblock MU_GetAllDigitalInputs. Hier muss aber als Eingang die Position angegeben werden, welche der Motor bei Betätigung des Referenzschalters hat. In unserem Fall wurde diese Position folgendermassen ermittelt:

Wenn der Endschalter vom Düsenhebel betätigt wird, können bis zum Anschlag noch 4 Umdrehungen gemacht werden. Das entspricht:

$$4\,Umdr \cdot 500 \cdot 4\,\frac{qc}{Umdr} \cdot 231 = 1'848'000\,qc$$ qc = Quad Counts

Wobei von einem Anschlag zum anderen gesamthaft 26.75 Umdrehungen gemacht werden können. Also lässt sich die Referenzposition folgendermassen berechnen:

$$\underline{\underline{Position}} \;=\; 26.75\,Umdr \cdot 500 \cdot 4\,\frac{qc}{Umdr} \cdot 231 \;-1'848'000\,qc \;=\; \underline{\underline{10'510'500\,qc}}$$

5.6.3 Analog Eingang Einlesen

Das Analogsignal durch welches direkt die Position des Stellantriebs vorgegeben wird, kann mit dem Funktionsblock MU_GetAnalogInput eingelesen werden.

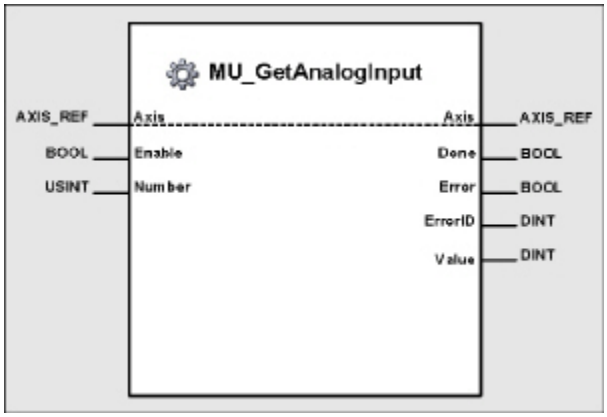


Abbildung 5-15: Funktionsblock MU_GetAnalogInput

Der Aufruf des Funktionsblocks erfolgt wie beim Funktionsblock MU_GetAllDigitalInputs. Hier muss aber noch die Nummer des Analogeingangs vorgegeben werden, in unserem Fall ist dies der Analogeingang 1.
Wurde der Funktionsblock erfolgreich beendet, erhält man am Ausgang „Done“ ein TRUE und der Wert des Analogsignals steht direkt am Ausgang „Value“ des Bausteins in mV zur Verfügung.

5.6.4 Absolut Positionierung durchführen

Da in unserem Fall die Eingangsspannung des Analogsignals direkt der Position entspricht, wird der Funktionsblock MC_MoveAbsolute für das Positionieren verwendet.

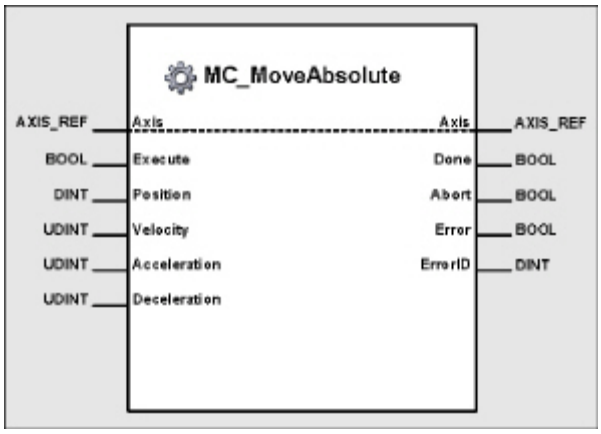


Abbildung 5-16: Funktionsblock MU_MoveAbsolute

Solange am Eingang „Execute“ ein TRUE anliegt, wird eine Positionierung an die von „Position“ vorgegebene Stelle durchgeführt. Bei diesem Funktionsblock muss zudem noch die Geschwindigkeit, die Beschleunigung und die Verzögerung vorgegeben werden.
Wurde eine Positionierung erfolgreich durchgeführt, wird dies mit einem TRUE am Ausgang „Done“ signalisiert.

5.6.4.1 Berechnung der Drehgeschwindigkeit

Um grosse Druckstösse zu vermeiden, darf das Handrad bzw. die Spindel nicht zu schnell gedreht werden. Laut Erfahrungen der Betreiber der Anlage sollte eine Winkelgeschwindigkeit von ca. 360° in vier Sekunden nicht überschritten werden.

Daraus folgt: $\omega_{\max} = 90\,\frac{^\circ}{s} = \frac{\pi}{2}\,\frac{rad}{s} = 15\frac{U}{\min}$

Da der Stellmotor ein Getriebe mit einer Untersetzung von 231 : 1 hat, ergibt das für den Motor eine maximale Drehgeschwindigkeit von:

$$n_{\max} = 231 \cdot 15\,\frac{U}{\min} = 3465\,\frac{U}{\min}$$

Beim Funktionsblock wird deshalb eine Geschwindigkeit von 3000 U/min vorgegeben, um nicht ans Limit zu gelangen.

5.6.4.2 Berechnung der anzufahrenden Position

Wie bereits erwähnt, werden am Handrad 26.75 Umdrehungen benötigt, um von einem Anschlag zum anderen zu kommen. Dies entspricht:

$$26.75\,Umdr \cdot 500 \cdot 4\,\frac{qc}{Umdr} \cdot 231 = 12'358'500\,qc$$

Es müssen also mit dem Stellsignal von 0 mV bis 5000 mV alle Positionen von 0 qc bis 12'358'500 qc angefahren werden können. Daraus folgt:

$$0\,qc \ldots 12'358'500\,qc \;\; entspr. \;\; 0\,mV \ldots 5000\,mV$$
$$\Rightarrow 12'358500\,qc = x \cdot 5000\,mV$$
$$\Rightarrow \underline{\underline{x \approx 2472}}$$

Die als mV eingelesene Spannung muss somit mit 2472 multipliziert werden, um die anzufahrende Position in Quad Counts zu erhalten.

5.6.5 Digitale Ausgänge schreiben

Um auf die digitalen Ausgänge zu schreiben, wird der Baustein MU_SetAllDigitalOutputs verwendet.

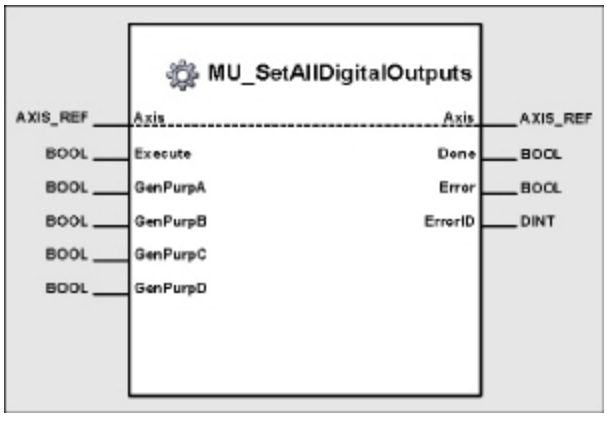


Abbildung 5-17: Funktionsblock MU_SetAllDigitalOutputs

Die Ausführung erfolgt gleich wie beim Funktionsblock MU_GetAllDigitalInputs. Hier müssen allerdings noch die in den Ausgang zu schreibenden Variablen angegeben werden. Wurden die Daten erfolgreich geschrieben, erhält man am Ausgang „Done“ ein TRUE.

5.7 Anschlüsse Maxon EPOS P

Der Motorencontroller Maxon EPOS P muss gemäss folgender Abbildung angeschlossen werden:

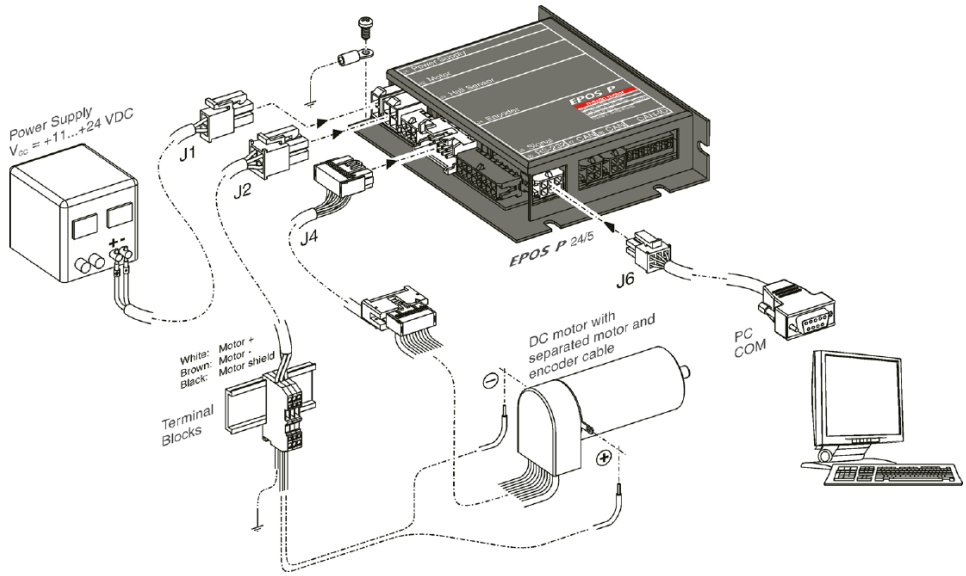


Abbildung 5-18: Verdrahtung der Maxon EPOS P

Die Ein- und Ausgänge der EPOS P werden folgendermassen genutzt:

Figure 20: EPOS signal cable head A

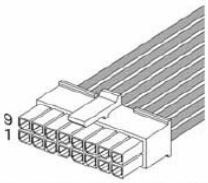


Figure 21: Pin assignment EPOS signal cable head A

The used Molex Micro-Fit 3.0.™ connector fits to EPOS P 24/5 connector "J5 Signal"

Pin No.	Color	Signal	Description
1	White	D_Gnd	Digital signal ground
2	Brown	D_Gnd	Digital signal ground
3	Green	DigIN 6	Digital input 6 "negative limit switch"
4	Yellow	DigIN 5	Digital input 5 "positive limit switch"
5	Grey	DigIN 4	Digital input 4 "Home switch"
6	Pink	DigIN 3	Digital input 3 "general purpose"
7	Blue	DigIN 2	Digital input 2 "general purpose"
8	Red	DigIN 1	Digital input 1 "general purpose"
9[1]	Black	$+V_{OUT}$	Auxiliary supply voltage Output (+11 … +24 VDC)
9[2]	Black	$+V_C$	Logic supply voltage Input (+11 … +24 VDC)
10	Violet	DigOUT 4	Digital output 4 "Brake"
11	Grey-Pink	DigOUT 3	Digital output 3 "general purpose"
12	Red-Blue	DigOUT 2	Digital output 2 "general purpose"
13	White-Green	DigOUT 1	Digital output 1 "general purpose"
14	Brown-Green	A_Gnd	Analogue signal ground
15	White-Yellow	AnIN 2	Analogue input 2
16	Yellow-Brown	AnIN 1	Analogue input 1

Abbildung 5-19: Ein- und Ausgänge der Maxon EPOS P

☐	Pin 7: DigIn 2	HomingSignal: Gibt an ob die EPOS eine Referenzierungsfahrt ausführen soll oder nicht.
	Pin 8: DigIn 1	PositioningSignal: Gibt an, ob die EPOS P eine Positionierung vornehmen darf oder nicht.
☐	Pin 10: DigOut 4	HomingError: Gibt an, ob während der Referenzierungsfahrt ein Fehler aufgetreten ist.
	Pin 11: DigOut 3	HomingDone: Gibt an, ob die Referenzierungsfahrt erfolgreich war.
	Pin 12: DigOut 2	PositioningError: Gibt an, ob während der Positionierungsfahrt ein Fehler aufgetreten ist.
	Pin 13: DigOut 1	PositioningDone: Gibt an, ob die Positionierung erfolgreich war.
☐	Pin 16: AnIn 1	AnalogValue: Mit 0 V bis 5 V am Eingang wird absolut die Position der Düse vorgegeben. 5 V = Düse voll geöffnet; (100 % Öffnung) 0 V = Düse voll geschlossen (0 % Öffnung)

5.8 Programm auf der SPS

Das Programm auf der SPS beinhaltet die gesamte „Intelligenz“ der Anlage und wird somit recht komplex. Deshalb wurde das Programm folgendermassen aufgeteilt:

- Sicherheitskreis
- Inbetriebnahme
- Berechnung
- Steuerung
- Regelung
- Datenaufzeichnung
- Signalisierung

Diese Programmteile werden alle sequentiell in der aufgelisteten Reihenfolge abgearbeitet und immer wiederholt. Sie sind alle mit strukturiertem Text oder Kontaktplan geschrieben.

Im Folgenden werden anhand von Funktionsdiagrammen die einzelnen Teilprogramme erläutert. Der komplette Sourcecode und die Kontaktpläne befinden sich auf der beigelegten CD unter Omron_SPS / Programm.

5.8.1 Sicherheitskreis

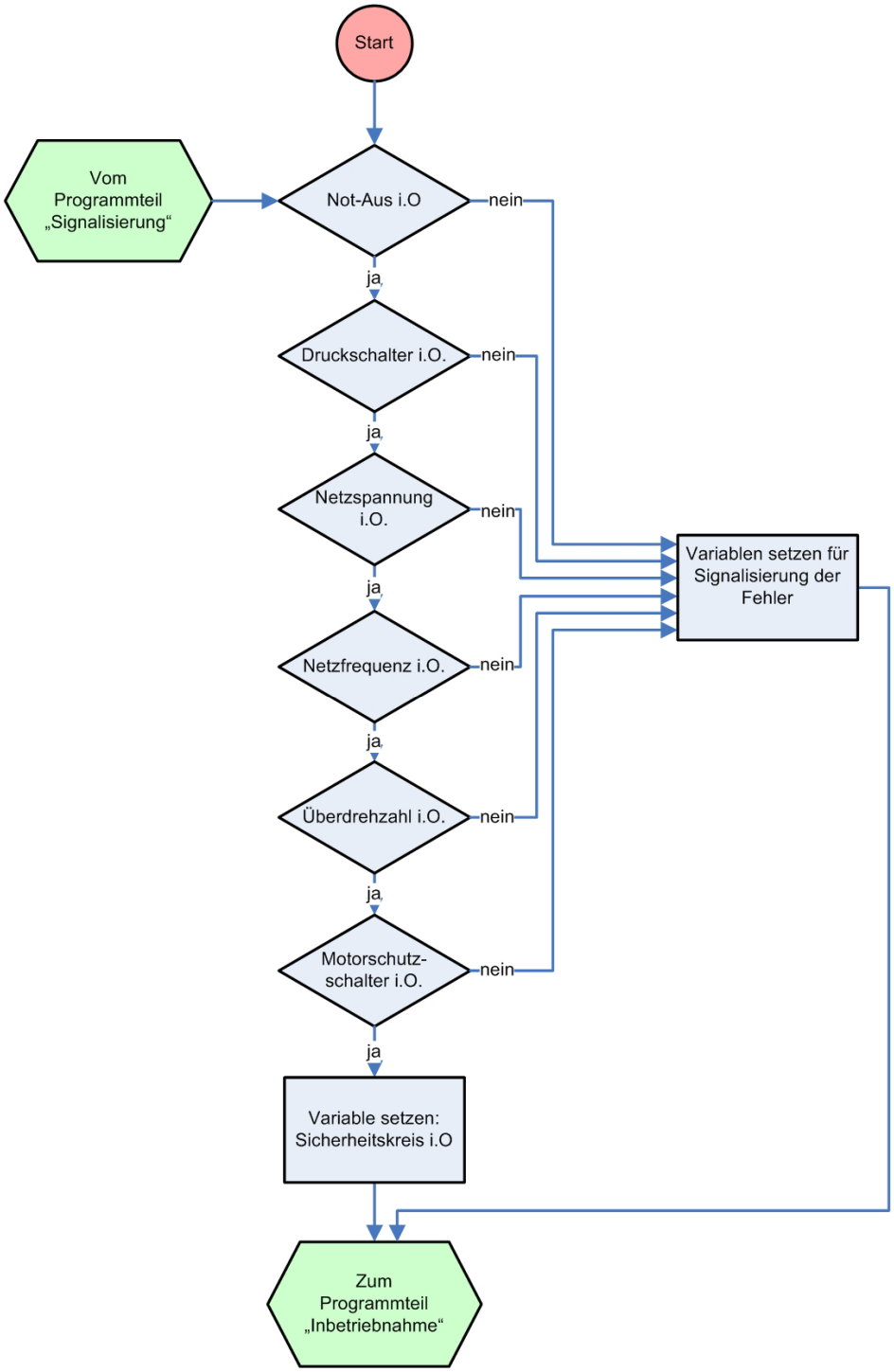


Abbildung 5-20: Programmstruktur Sicherheitskreis

5.8.2 Inbetriebnahme

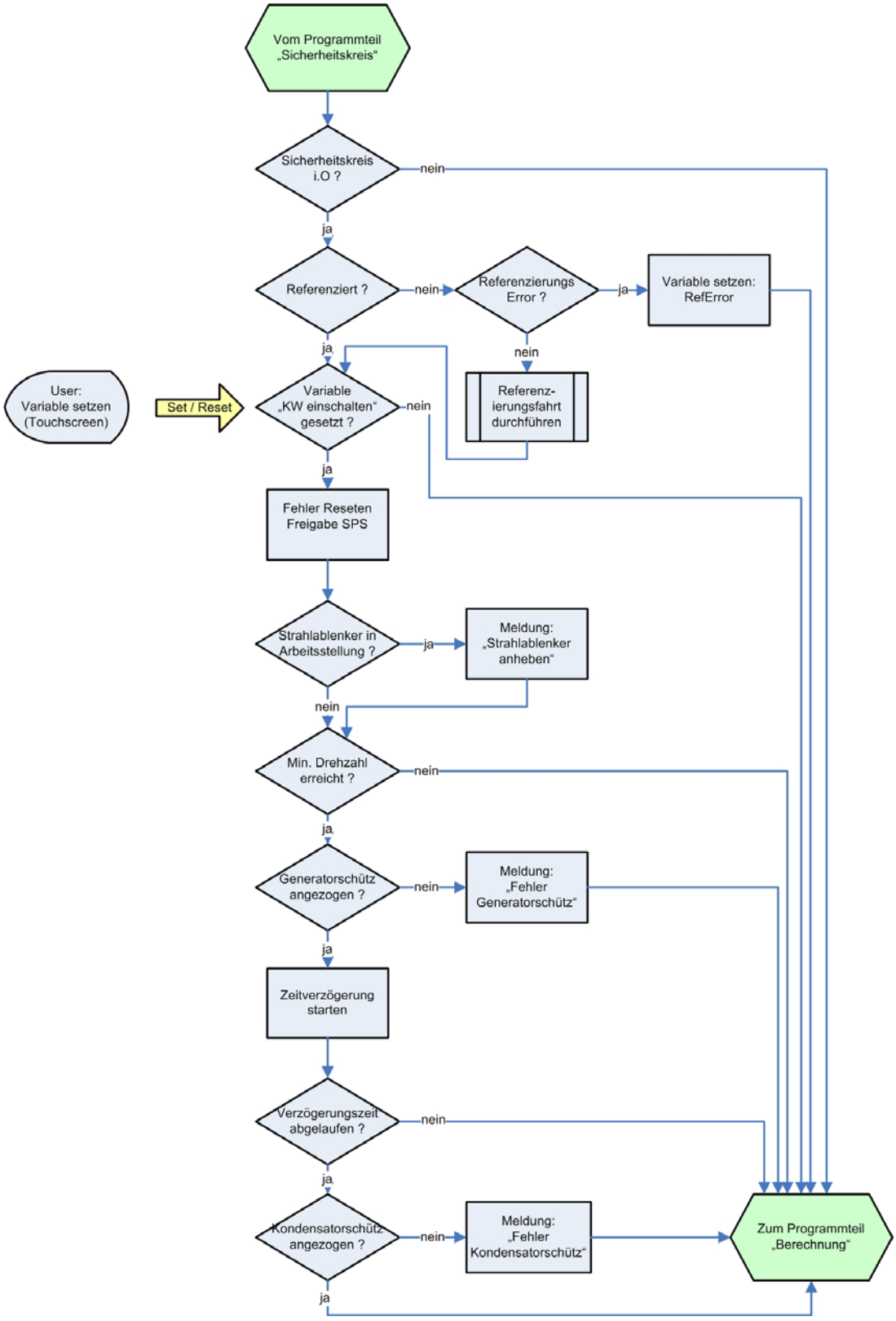


Abbildung 5-21: Programmstruktur Inbetriebnahme

5.8.3 Berechnung

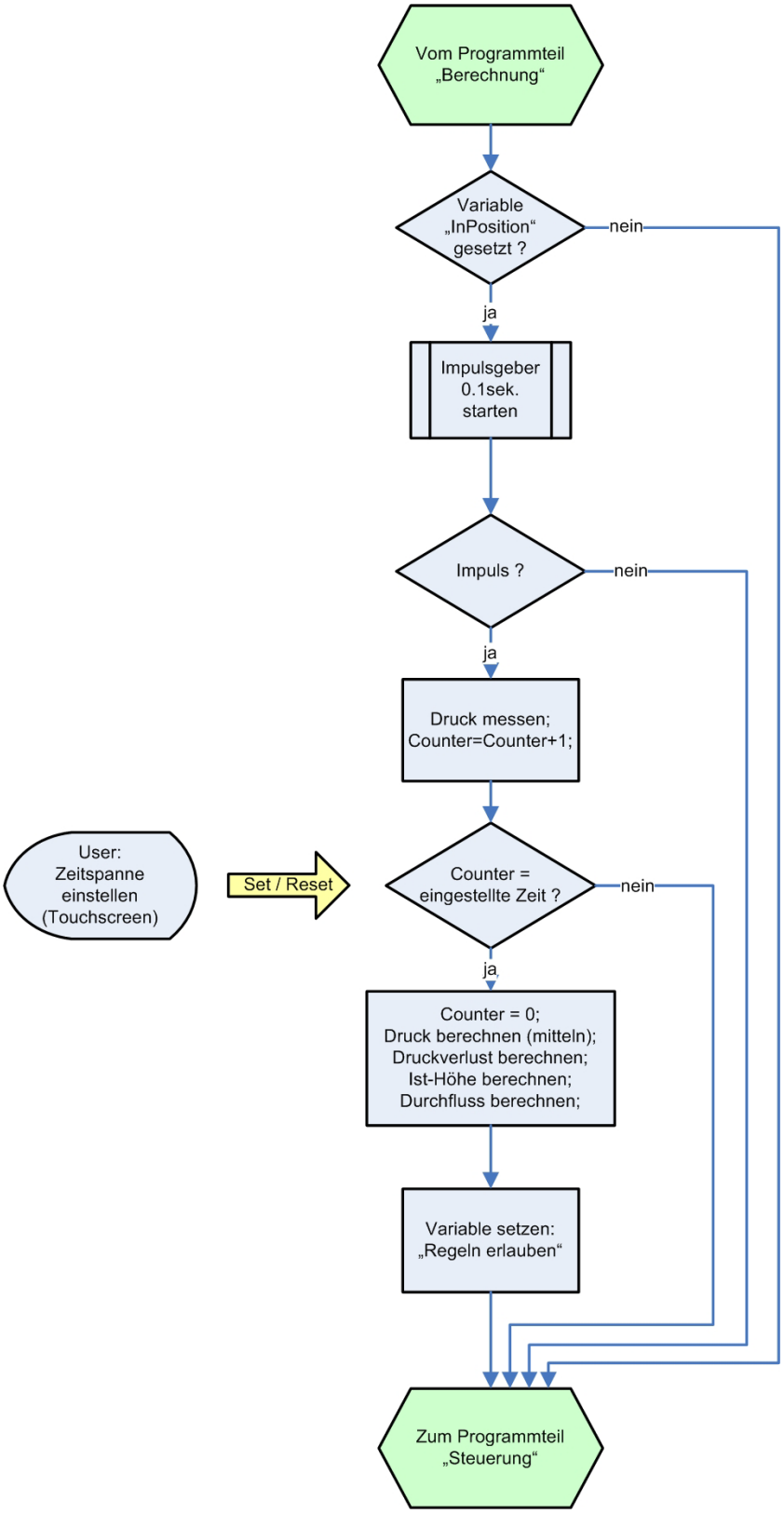


Abbildung 5-22: Programmstruktur Berechnungen

5.8.4 Steuerung

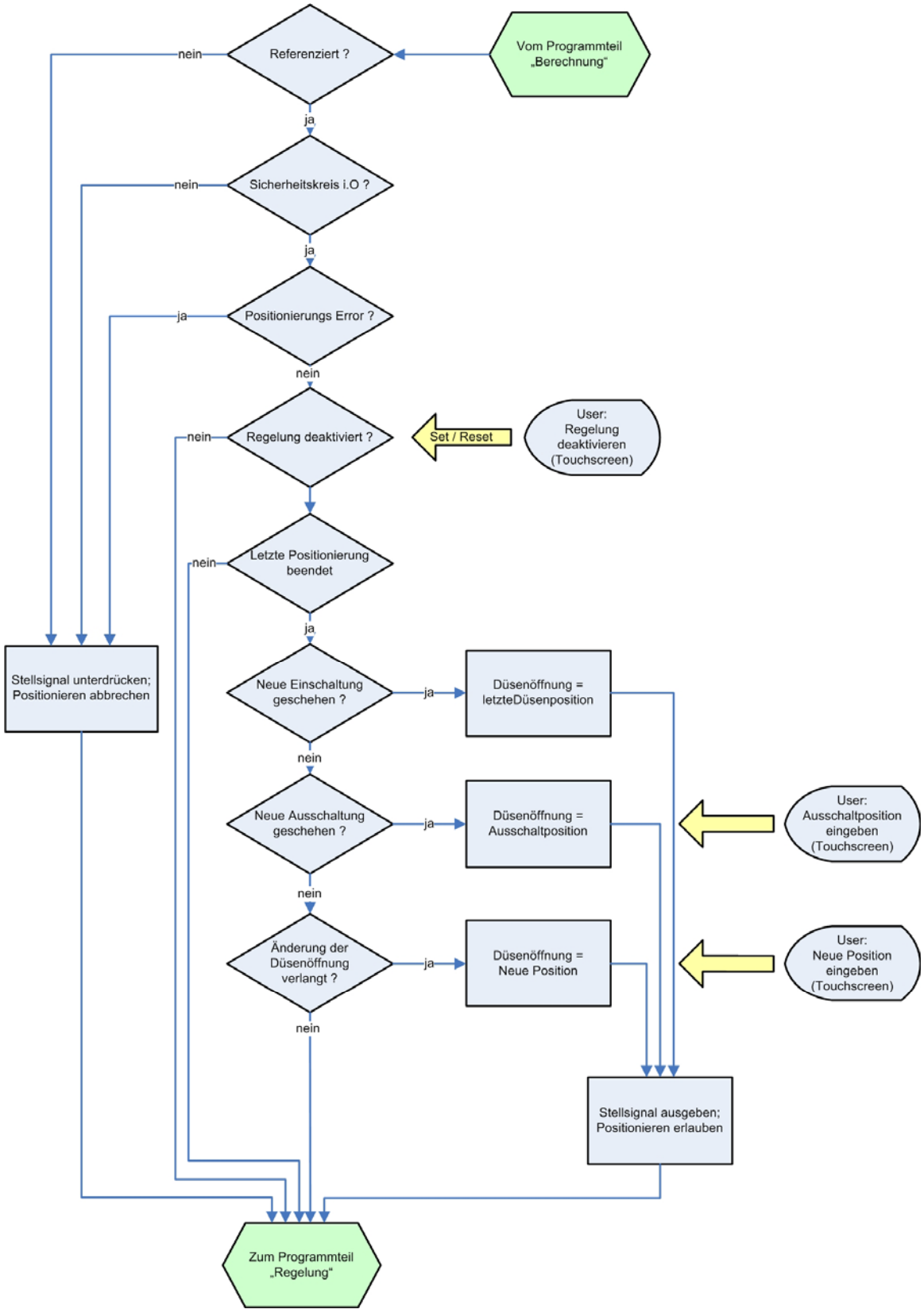


Abbildung 5-23: Programmstruktur Steuerung

5.8.5 Regelung

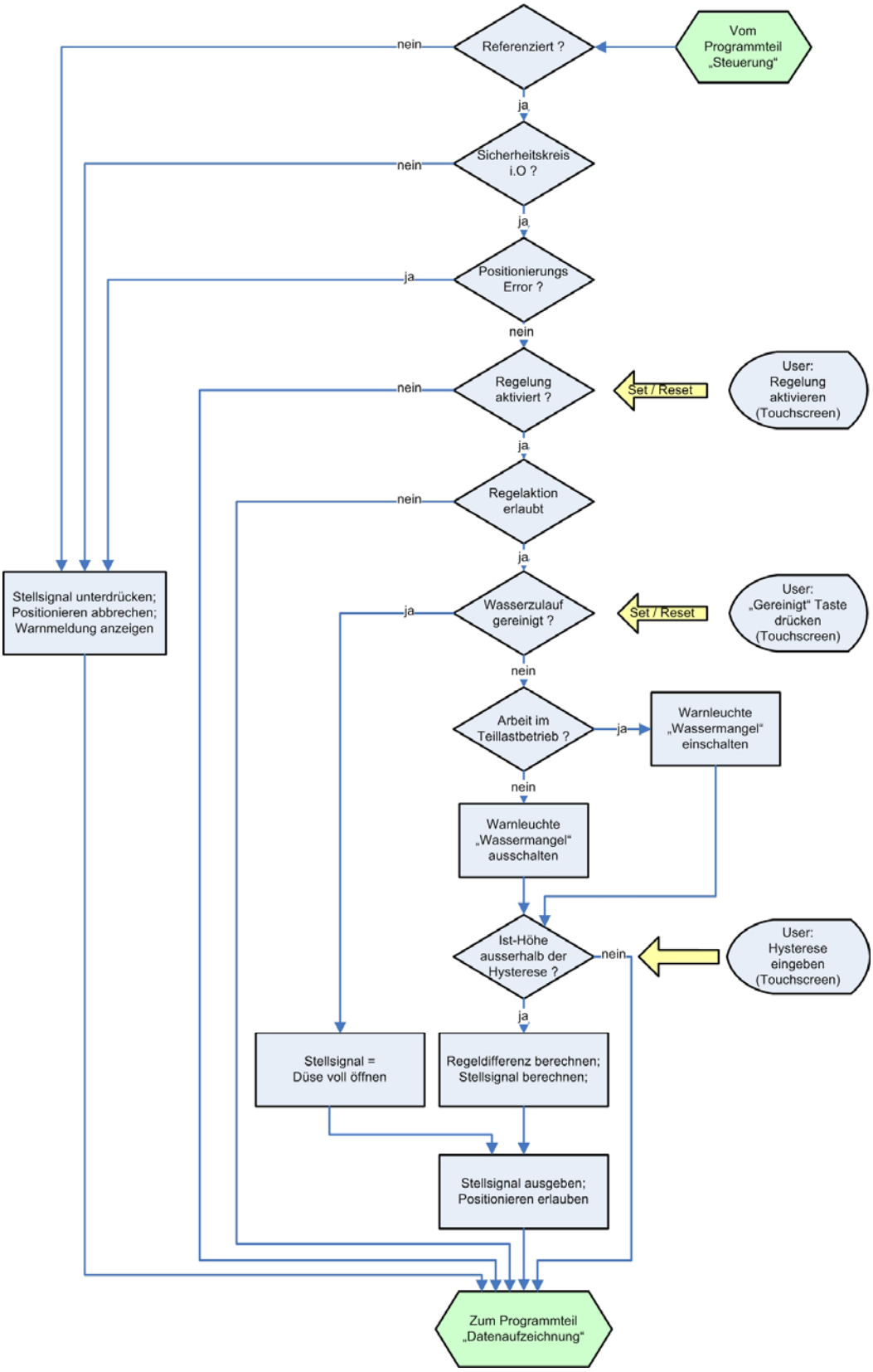


Abbildung 5-24: Programmstruktur Regelung

5.8.6 Datenaufzeichnung

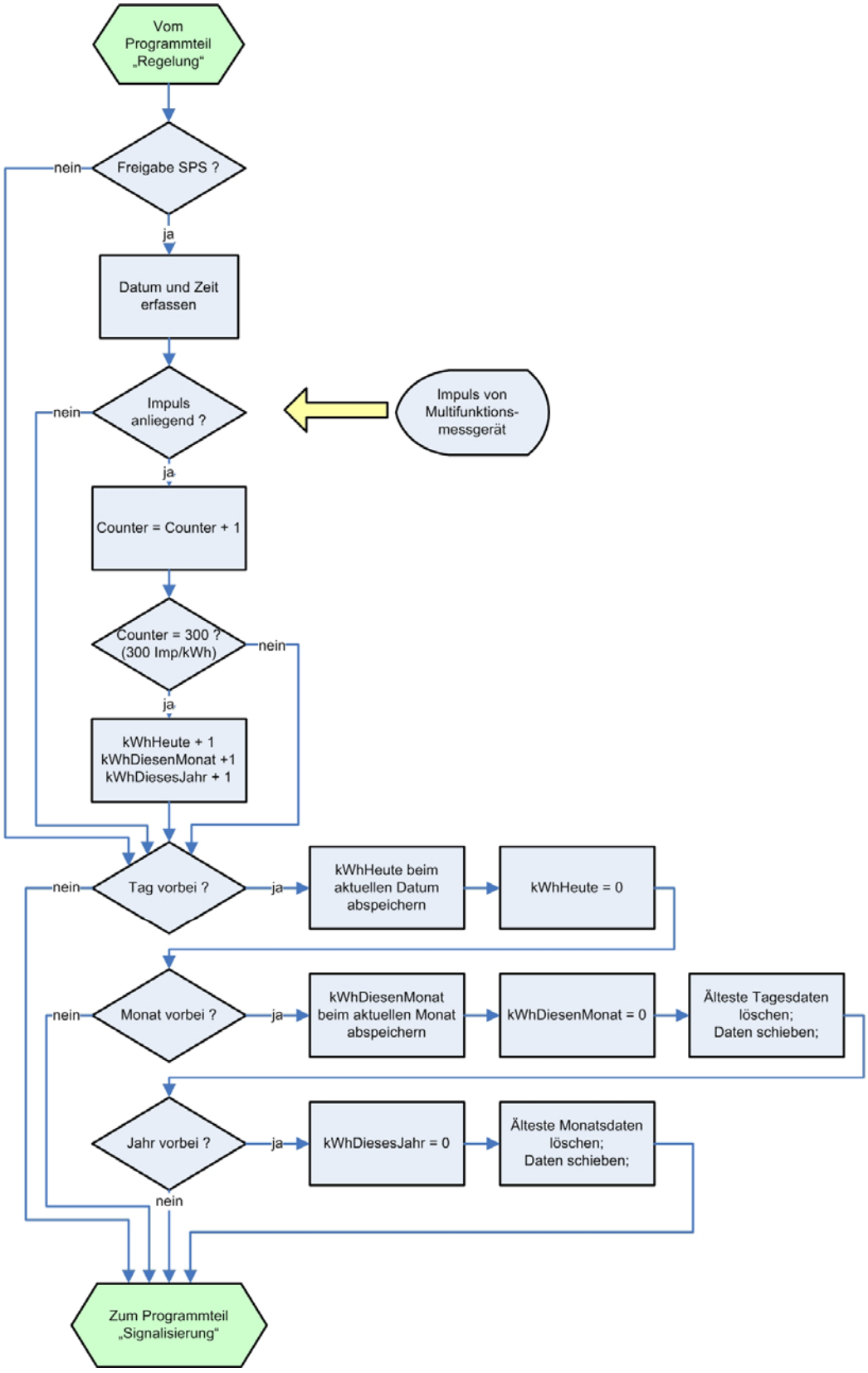


Abbildung 5-25: Programmstruktur Datenaufzeichnung

5.8.7 Signalisierung

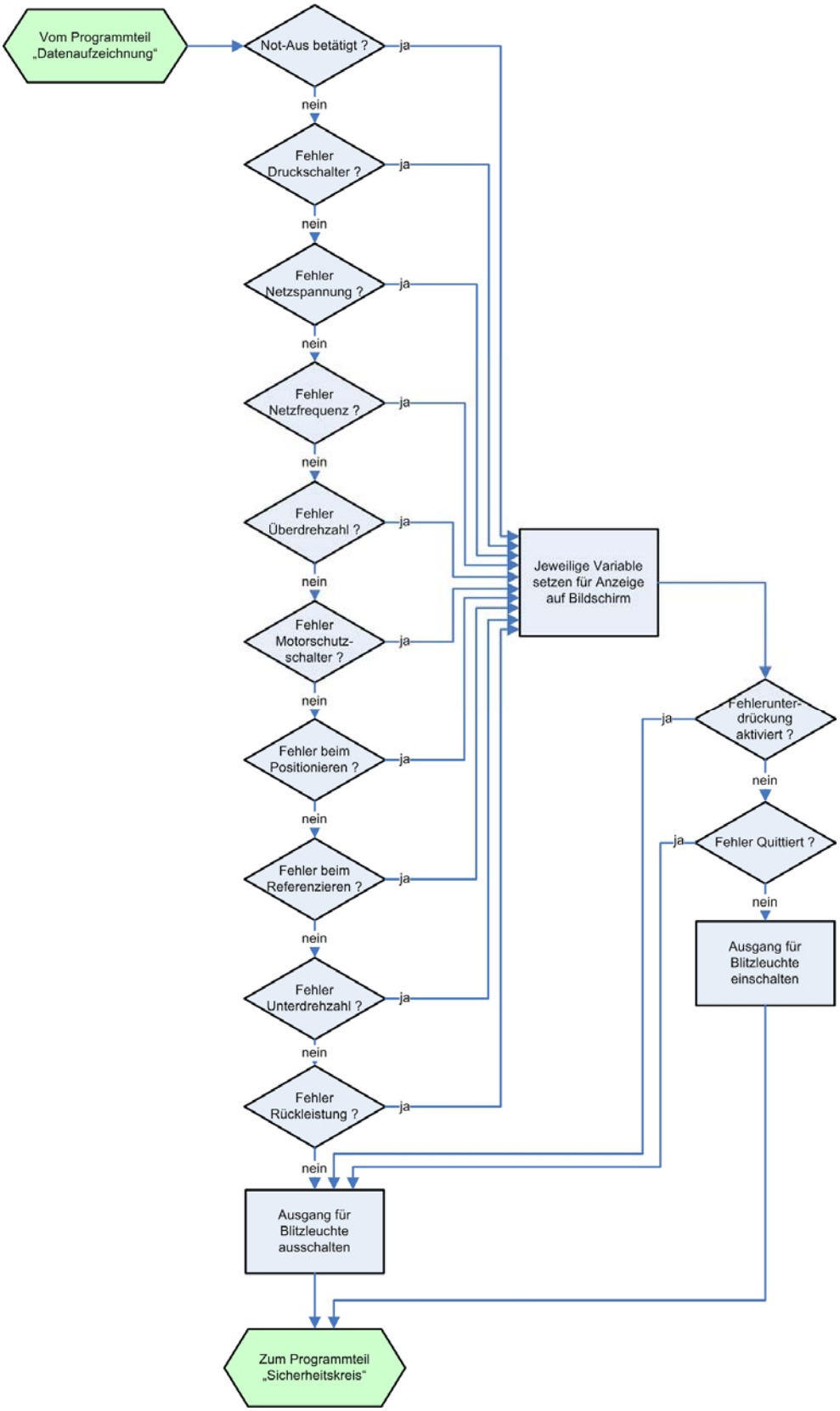


Abbildung 5-26: Programmstruktur Signalisierung

5.9 Regelung

In diesem Kapitel wird die Art und Struktur der Regelung bestimmt und die Regelstrecke untersucht.

5.9.1 Übersicht des Regelsystems

Auf dem folgenden Bild sind alle für die Regelung wichtigen Komponenten zu sehen:

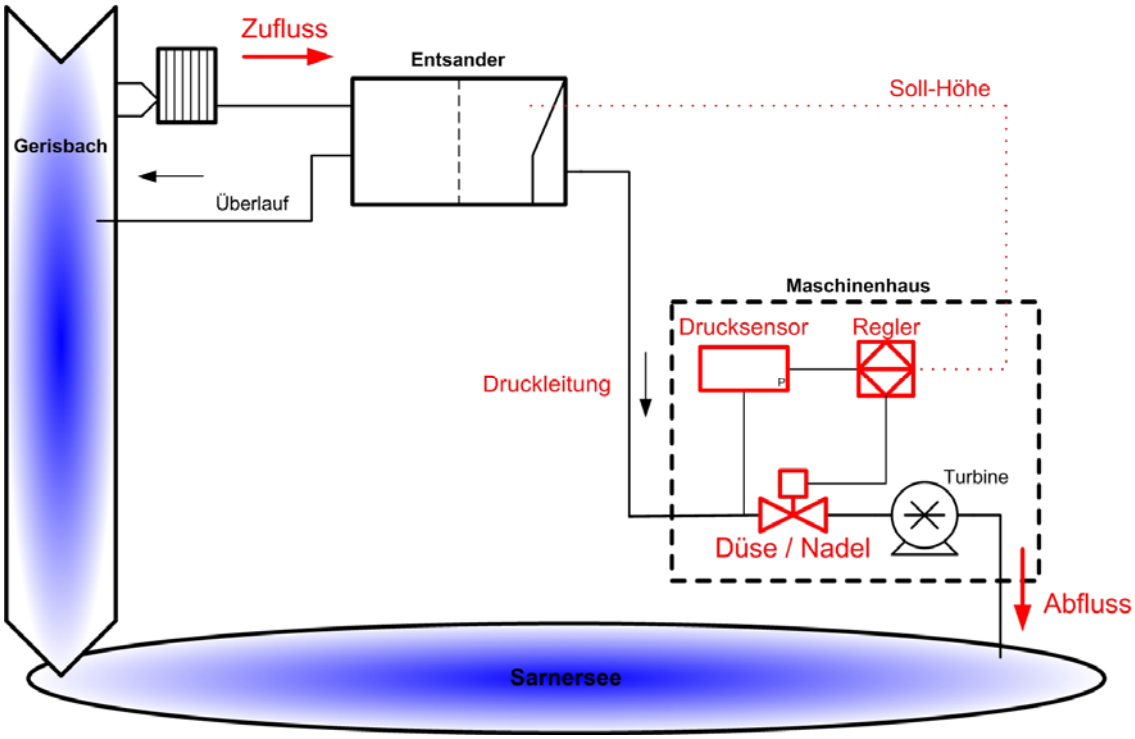


Abbildung 5-27: Übersicht Regelsystem

Die Soll-Höhe ist gerade die Höhendifferenz von der Düse bis unterhalb des Überlaufs und wird direkt dem Regler als digitaler Wert vorgegeben. Die Ist-Höhe wird mittels des Drucksensorsignals in der SPS berechnet und mit der Soll-Höhe verglichen. Besteht zwischen den beiden Grössen ein Unterschied, so verstellt der Regler dementsprechend die Position der Nadel und somit die Öffnung der Düse.
Man könnte auch sagen, dass der Regler dafür sorgt, dass zwischen der zufliessenden und der abfliessenden Wassermenge keine Differenz entsteht.

5.9.2 Regelkreisstruktur

Ein Standard Regelkreis hat die folgende Struktur:

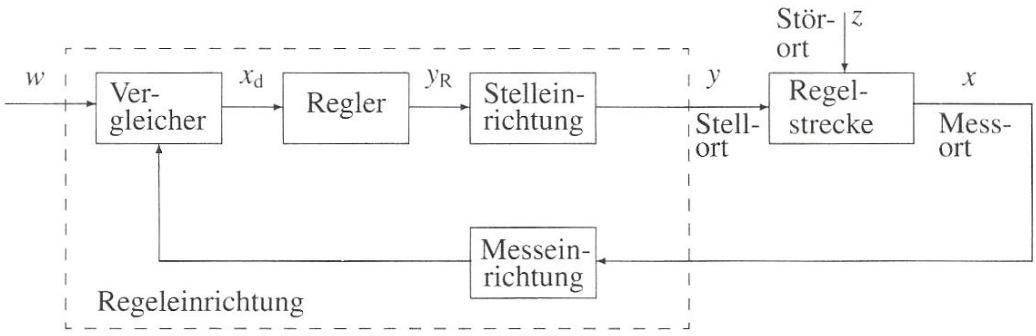


Abbildung 5-28: Struktur eines Standard Regelkreises

Dabei sind:
- w… vorgegebener Soll-Wert
- x… Ist-Wert
- x_d… Regeldifferenz
- y_R… Stellsignal
- y… Stellgrösse
- z… Störgrösse

In Fall des untersuchten Wasserkraftwerks bedeutet dies folgendes:
- w… Vorgegebene Soll-Höhe des Pegelstandes (Digitaler Wert)
- x… Ist-Höhe des Pegelstandes (h_{ist})
- x_d… Differenz zwischen Soll- und Ist-Höhe
- y_R… Berechneter Drehwinkel für Stellantrieb (φ_{dig})
- y… Drehwinkel um Nadel in Position zu fahren (φ)
- z… Zufluss in den Entsander (Q_{zu})

Der Regelkreis sieht also folgendermassen aus:

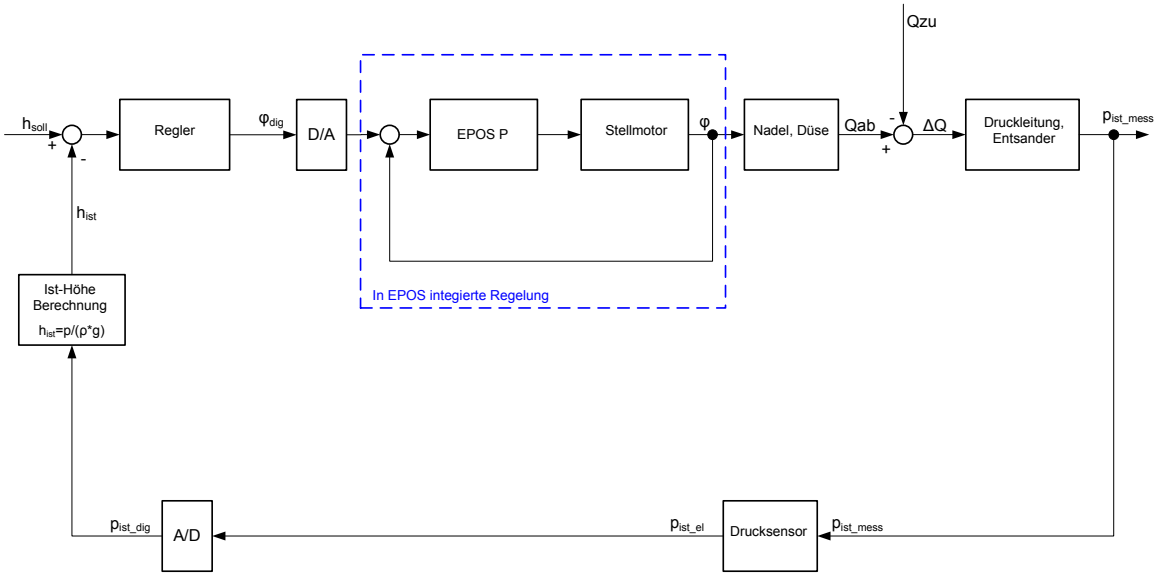


Abbildung 5-29: unvollständige Regelkreisstruktur

Der mittels Drucksensor gemessene Druck sagt alleine aber noch nicht aus wie hoch der Wasserpegel wirklich ist. Denn je nach Durchflussmenge entsteht in der Druckleitung ein unterschiedlicher Druckabfall, verursacht durch Reibungsverluste und Viskosität des Wassers. Dieser Druckabfall muss zum gemessenen Druck addiert werden, damit man eine Information über die tatsächliche Höhe des Wasserpegels erhält. Der Druckabfall kann zum Beispiel in Abhängigkeit der Düsenöffnung berechnet werden.

Der komplette Regelkreis sieht damit folgendermassen aus:

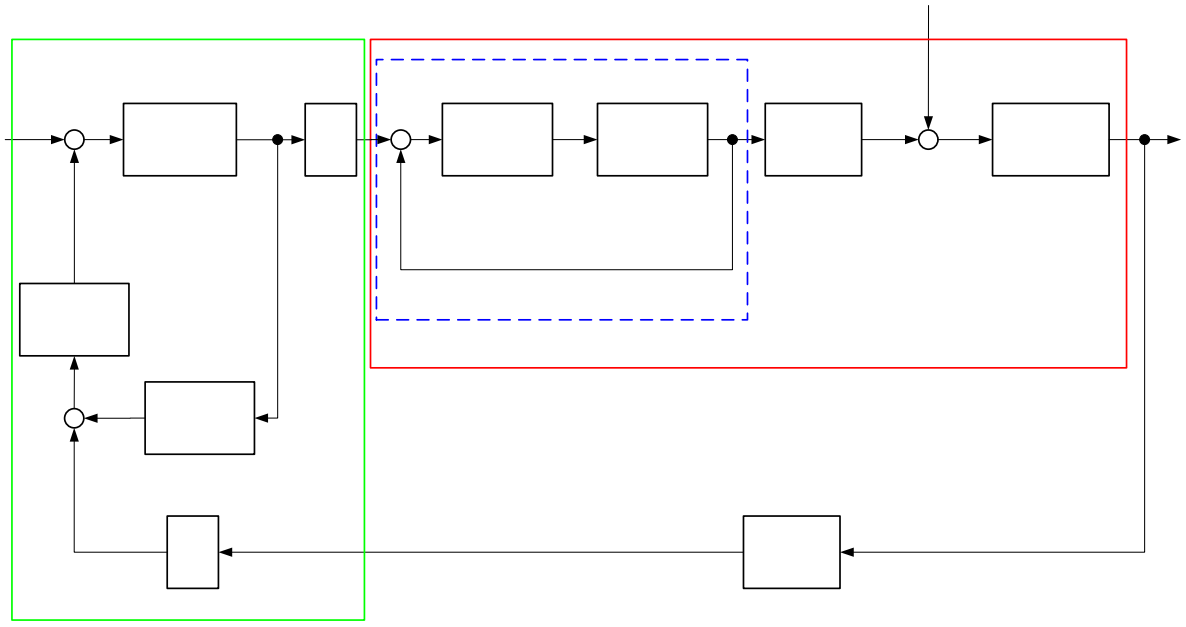


Abbildung 5-30: Vollständige Regelkreisstruktur

Der blau markierte interne Regelkreis ist bereits in der EPOS P integriert. Das heisst, die EPOS P sorgt selbst dafür, dass die vorgegebene Position angefahren wird. Dank dem muss die Position nicht mehr überprüft werden.
Alles grün markierte wie A/D oder D/A-Wandler und die gesamten Berechnungen werden mit der SPS gemacht. Die Konvertierungszeiten von A/D und D/A-Wandler sind mit 1 ms so viel schneller als die Zeitkonstanten der Regelstrecke, dass diese vernachlässigt werden können. Somit kann der grün markierte Bereich zu einem Block vereinfacht werden.
Wenn die Stelleinrichtung auch als Teil der Regelstrecke betrachtet wird, dann bildet der gesamte rot markierte Bereich die Regelstrecke. Da nur das Verhalten der gesamten Regelstrecke interessiert, kann dieser gesamte Bereich als so genannte Blackbox betrachtet werden.
Damit vereinfacht sich der Regelkreis zu folgender Struktur:

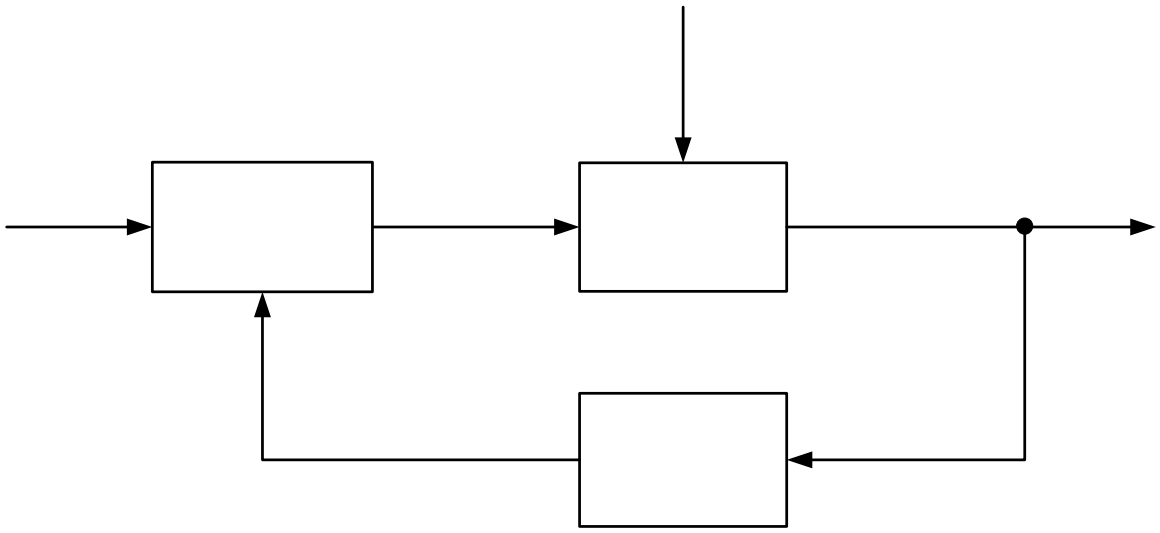


Abbildung 5-31: Vereinfachte Regelkreisstruktur

5.9.3 Berechnung der Ist-Höhe

Wie bereits erwähnt, kann aufgrund des Druckverlustes in der Druckleitung nicht aus dem statischen Druck alleine die Ist-Höhe ermittelt werden. Deshalb muss zum statischen Druck noch der Druckverlust berechnet und dazugezählt werden. Dazu wurde durch Messungen ein Druckverlauf in Abhängigkeit der Düsenöffnung ermittelt:

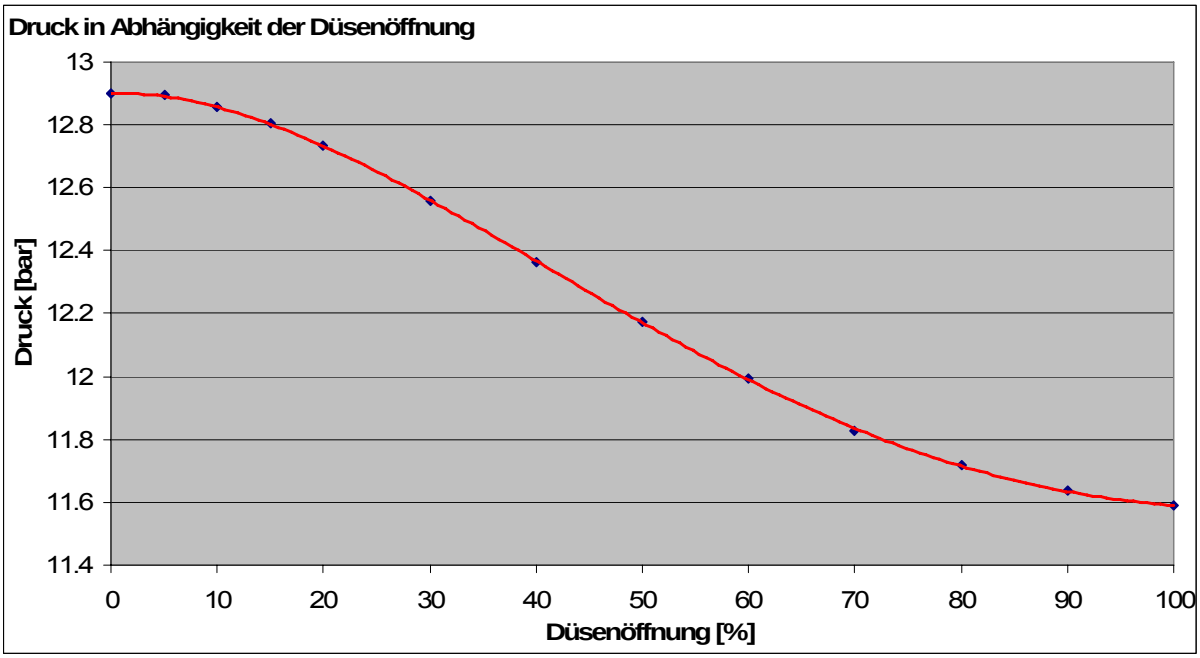


Abbildung 5-32: Druck in Abhängigkeit der Düsenöffnung

Wird eine Trendlinie vierter Ordnung angelegt, erhält man für diese Kurve die folgende Gleichung:

$$p(x) = -1.8421 \cdot 10^{-8} \cdot x^4 + 6.0843 \cdot 10^{-6} \cdot x^3 - 5.6038 \cdot 10^{-4} \cdot x^2 + 4.9647 \cdot 10^{-4} \cdot x + 12.9016$$

Wobei p der Druck in bar und x die Düsenöffnung in Prozent sind.

Die Höhe einer stehenden Wassersäule kann wie folgt berechnet werden:

$$h = \frac{p_0}{\rho \cdot g}$$

Dabei ist p_0 der Druck bei einer stehenden Wassersäule, ρ ist die Dichte des Wassers und g die Erdbeschleunigung.

Da im untersuchten Fall bei geöffneter Düse keine stehende Wassersäule vorhanden ist kommt zu dem mit dem Drucksensor gemessenen statischen Druck p noch der Druckabfall Δp hinzu:

$$h = \frac{p + \Delta p}{\rho \cdot g}$$

Der Druckabfall Δp kann aus der ermittelten Druckkurve berechnet werden:

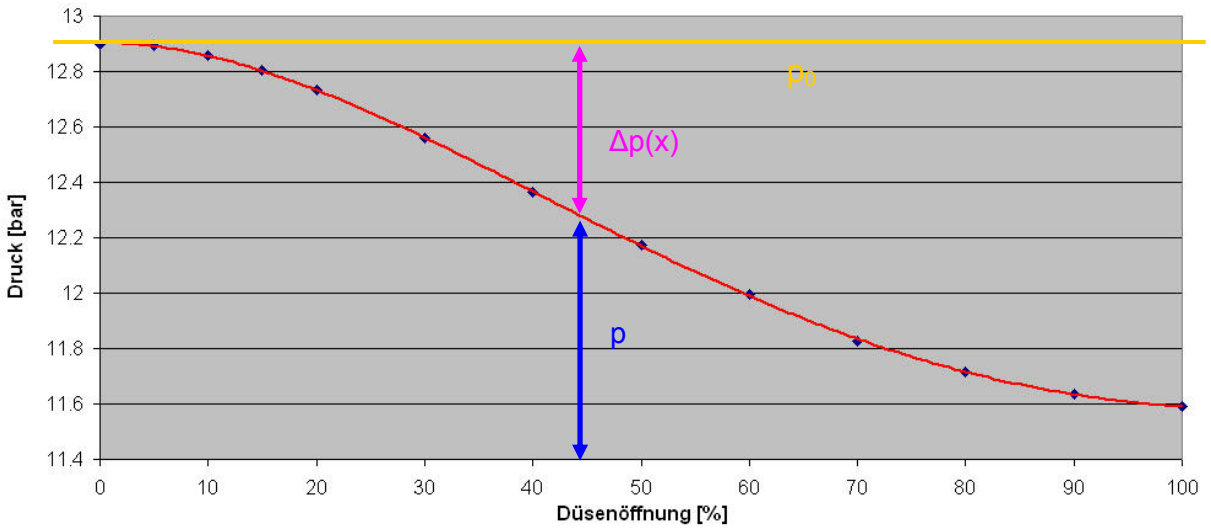


Abbildung 5-33: Berechnung des Druckverlustes

Der Druckverlust berechnet sich somit folgendermassen

$$\Delta p(x) = p_0 - p$$

Der Druck p0 wurde mit 12.899 bar gemessen.

Alles eingesetzt ergibt somit die Ist-Höhe in Abhängigkeit der Düsenöffnung x und des gemessenen Drucks p.

$$h(x, p) = \frac{p + 12.899 - \left(-1.842 \cdot 10^{-8} \cdot x^4 + 6.084 \cdot 10^{-6} \cdot x^3 - 5.604 \cdot 10^{-4} \cdot x^2 + 4.965 \cdot 10^{-4} \cdot x + 12.902\right)}{\rho \cdot g}$$

5.9.4 Messung des Drucksensor-Signals

Der folgende Gafik zeigt einen beliebigen Verlauf einer Druckkurve:

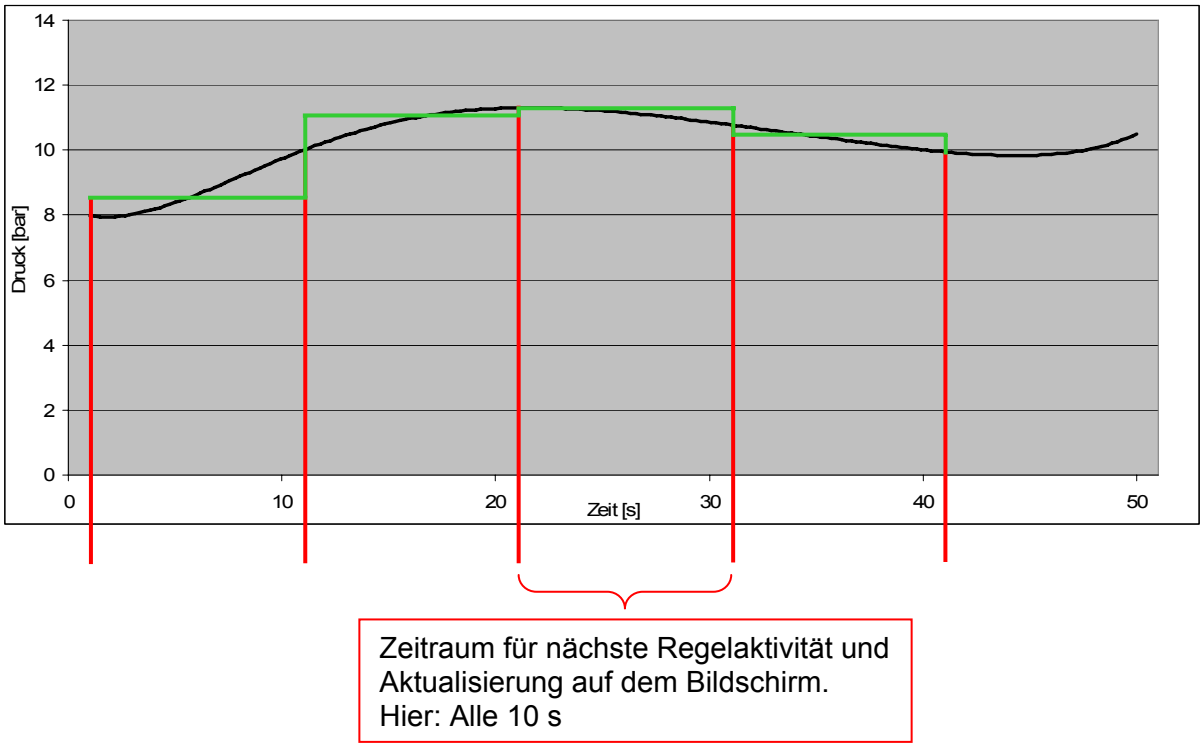


Abbildung 5-34: Abtastung des Drucksensorsignals

Die Aktualisierung auf dem Touchscreen erfolgt jeweils nach der eingestellten Zeit (Hier 10 s). Der Wert des Drucksensors wird während der ganzen Zeit alle 10 ms gemessen. Danach wird aus allen Werten der lineare Mittelwert gebildet und auf dem Touchscreen angezeigt. Mit der Mittelung von vielen Messwerten werden die kleinen Druckschwankungen geglättet.
Die Werte auf dem Display beschreiben für den Betrachter somit nicht eine zeit- und wertkontinuierliche Kurve (schwarz), sondern eine digitalisierte zeit- und wertdiskrete Kurve (grün).
Der Zeitraum für eine Regelaktivität, bzw. die Abtastzeit T0 des Reglers entspricht auch gleich der Aktualisierungszeit auf dem Display. Auf dem obigen Bild beträgt sie 10 s. Der Regler liesst zu den Zeitpunkten T0, T0+1, T0+2, …, T0+n jeweils den gemittelten Wert ein, der gerade auf dem Touchscreen angezeigt wird.

5.9.5 Messzeitpunkte

Bei einer neuen Positionierung wird der Druckverlust Δp über die anzufahrende Zielposition ausgerechnet. Der Druck p wird aber immer bei der aktuellen Düsenposition gemessen.
Das Problem das dabei entsteht, soll durch die nachfolgende Abbildung, welche ein Schliessen der Düse aufzeigt, visualisiert werden:

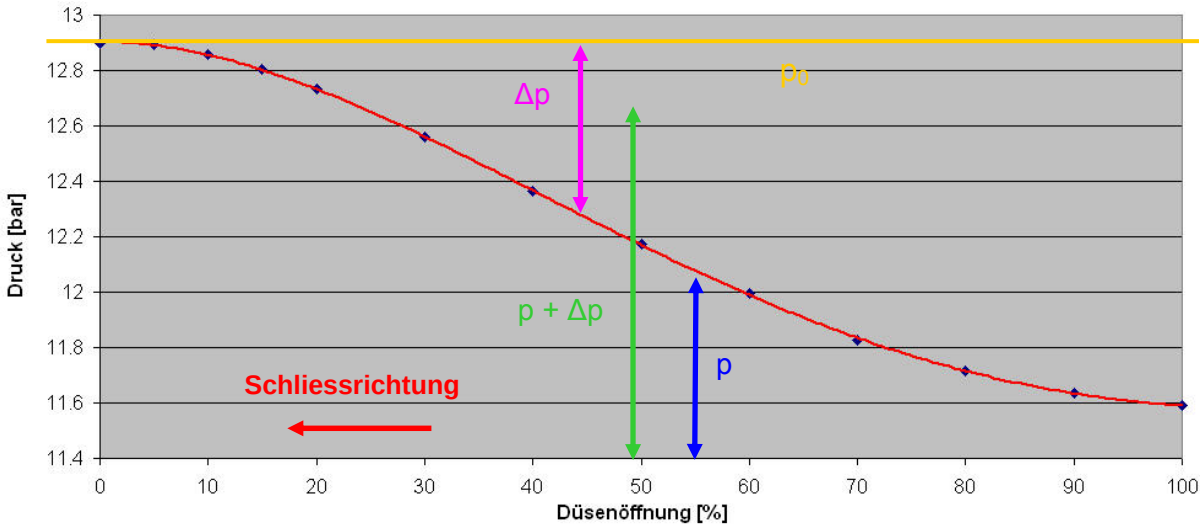


Abbildung 5-35: Probleme bei falschen Messzeitpunkten

Wenn bei aktivierter Regelung eine zu kleine Ist-Höhe gemessen, bzw. berechnet wird, so schliesst die Düse auf die neu berechnete Position. Nun wird während dem Positionieren aus der neuen Düsenöffnung und dem aktuellen Druck bereits wieder die Ist-Höhe berechnet:

$$h = \frac{p + \Delta p}{\rho \cdot g}$$

Das Problem, das dabei entsteht, ist klar ersichtlich. Der nun berechnete Druckverlust Δp ist bereits von der Zielposition, der gemessene Druck p aber ist von der aktuellen Düsenöffnung. Als Folge davon wird eine zu geringe Ist-Höhe berechet. Dadurch schliesst sich die Düse noch weiter. Dieses Szenario setzt sich so fort, bis die Düse an den eingestellten Anschlag gelangt.
Beim Öffnen der Düse spielt sich das gleiche ab, aber in umgekehrter Richtung.

Für dieses Problem kommt nur eine Lösung in Frage: Die Messung und Berechnung ist während dem Positionieren zu unterlassen. Erst wenn die neue Position erreicht ist, soll die Ist-Höhe wieder berechnet werden. Das führt aber dazu, dass während dieser Zeit die Anzeige auf dem Display nicht aktualisiert wird.

5.9.6 Totzone für die Regeldifferenz

Der Stellmotor soll nicht bereits bei der geringsten Differenz vom Ist-Werte zum Soll-Wert beginnen auszuregeln, sondern erst ab einer gewissen Abweichung. Diese Abweichung kann im Display eingestellt werden.
Eine solche Totzone muss gebildet werden, weil alleine durch das Quantisierungsrauschen des A/D-Wandlers und des Drucksensors die Regeldifferenz verfälscht werden kann und der Regler somit schon bei der kleinsten Abweichung zu arbeiten beginnen würde.
In der folgenden Abbildung zeigt die rote Kurve einen möglichen Verlauf der Ist-Höhe. Die grüne Linie ist die Eingestellte Soll-Höhe und die gelben Linien zeigen die Totzone für den Regler.

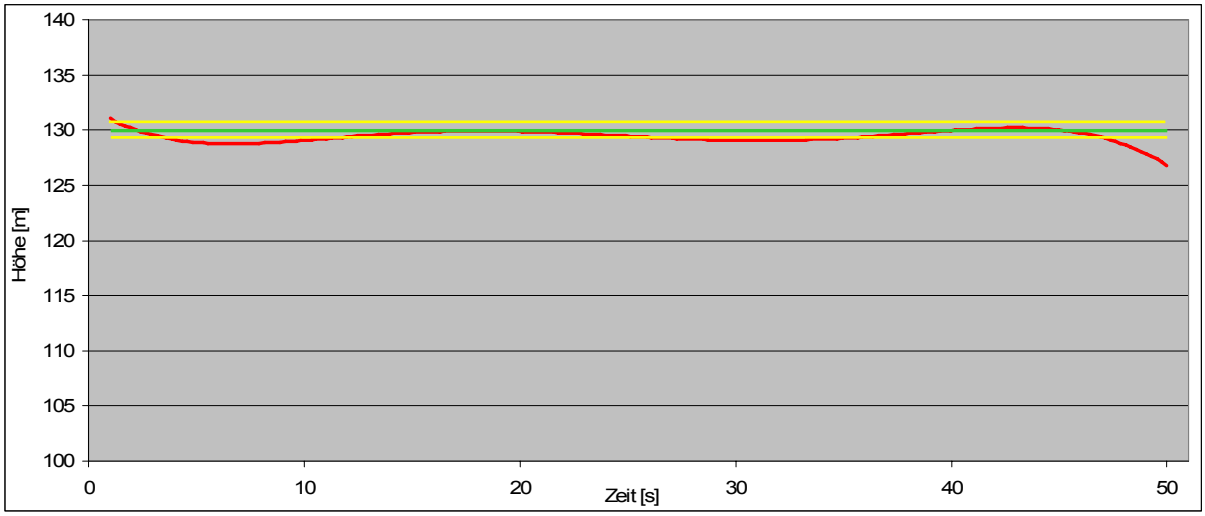


Abbildung 5-36: Totzone für den Regler

In dieser Abbildung beträgt die Totzone um den Soll-Wert zum Beispiel ca. ± 0.5m. Das heisst, erst wenn die Differenz zwischen Soll- und Ist-Höhe grösser als 0.5 m wird, beginnt der Regler bzw. der Stellmotor aktiv zu wirken.

5.9.7 Das Verhalten der Regelstrecke

5.9.7.1 Führungsverhalten

Annahme: Zufluss = 0 l/s
Abfluss = 0 l/s
Düsenöffnung = 0 %, entspr. 0 mV Stellsignal
Pegelstand = 131 m

Somit bleibt die Wasserhöhe in der Druckleitung, bzw. im Entsander konstant.

Es wird nun ein Sprung von 0 mV auf 5000 mV auf das Stellsignal gegeben. Das bedeutet, dass sich die Düse ganz öffnet.
Mit einer Drehgeschwindigkeit von 3000 U/min, einer Untersetzung von 231 : 1 und unter Vernachlässigung von Beschleunigung und Verzögerung dauert eine solche Positionierung:

$$t_{öffnen} = \frac{27\,U \cdot 60\,{}^{s}\!/_{\min} \cdot 231}{3000\,{}^{U}\!/_{\min}} = 124.7\ s$$

Die Folgende Abbildung zeigt die Positionierung in Abhängigkeit der Zeit.

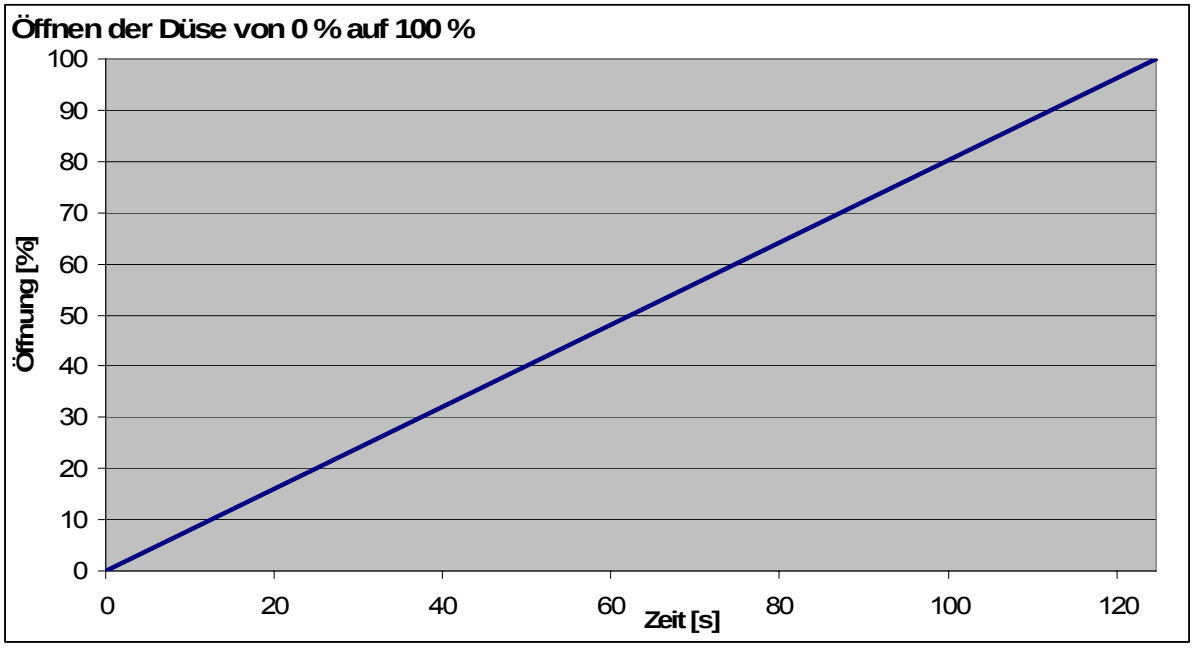


Abbildung 5-37: Düsenöffnung in Abhängigkeit der Zeit

Die Durchflussmenge verhält sich während dem Öffnen in Abhängigkeit der Düsenöffnung wie folgt:

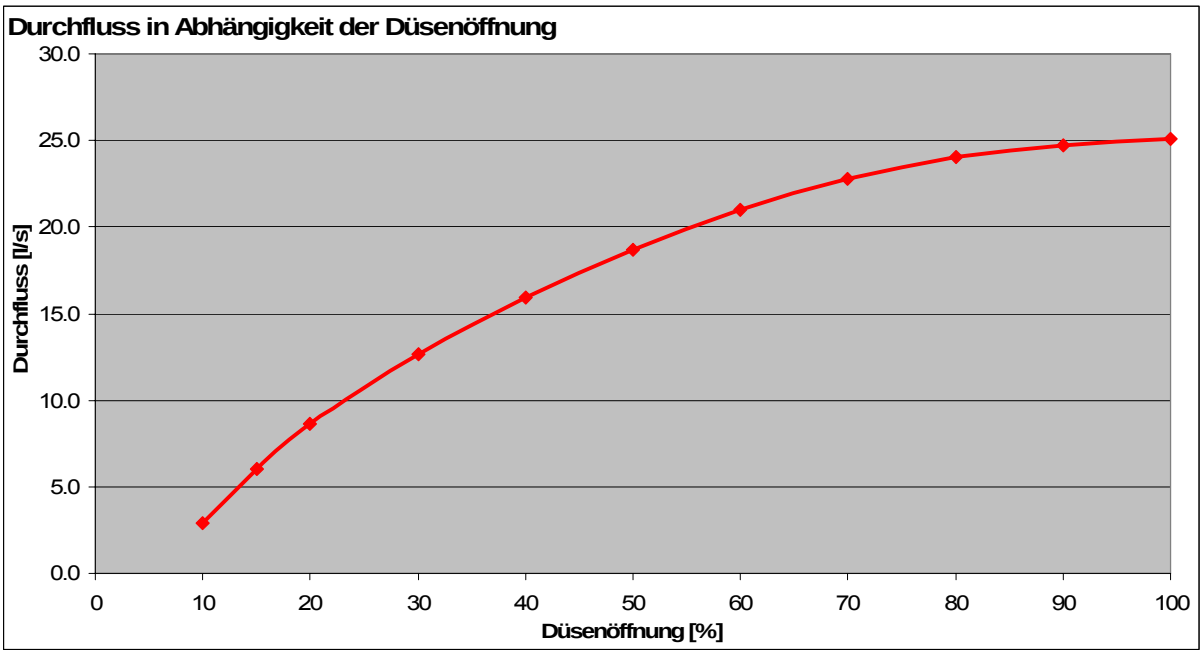


Abbildung 5-38: Durchfluss in Abhängigkeit der Düsenöffnung

Durch Anlegen einer Trendlinie vierter Ordnung erhält man für diese Kurve folgende Gleichung:

$$Q(x) = -3.8179 \cdot 10^{-7} \cdot x^4 + 9.6941 \cdot 10^{-5} \cdot x^3 - 1.1194 \cdot 10^{-2} \cdot x^2 + 8.2362 \cdot 10^{-1} \cdot x - 4.1970$$

Wobei Q der Durchfluss und x die Düsenöffnung ist.

Wenn nun anstelle der linear zunehmenden Düsenöffnung von 0 % bis 100 % die oben ermittelte Zeit von 0 s bis 124.7 s gesetzt wird, so kann man diese Gleichung nach der Zeit integrieren und man erhält die Menge an Wasser die während dem Öffnen herausgeflossen ist:

$$V = \int Q(x) \cdot dx = \int_{0s}^{124.7s} Q(t) \cdot dt = 2203\,l = 2.203\,m^3$$

Das entspricht mit den Grössenangaben des Entsanders aus dem Industrieprojekt folgender Höhendifferenz des Wasserstandes:

$$h_{öffnen} = \frac{V}{l \cdot b} = \frac{2.203\,m^3}{4.54\,m \cdot 2.02\,m} = 0.24\,m$$

Bei voll geöffneter Düse, bzw. nach der Öffnungszeit fliessen nach angaben aus dem Industrieprojekt konstant 26 l/s durch die Düse. Bis ein Pegelstand von 130 m erreicht ist, wird noch folgende Zeit benötigt:

$$t = \frac{(\Delta h - h_{öffnen}) \cdot l \cdot b}{Q} = \frac{(131\,m - 130\,m - 0.24m) \cdot 4.54\,m \cdot 2.02\,m}{0.026\,m^3/s} = 268\,s$$

Für die Absenkung um einen Meter von 131 m auf 130 m werden gesamthaft also 268 s + 124.7 s = 392.7 s benötigt.
Mit der folgenden Abbildung ist zu erkennen, dass sich die Regelstrecke innerhalb des Entsanders wie ein Integrator mit Verzögerung verhält.

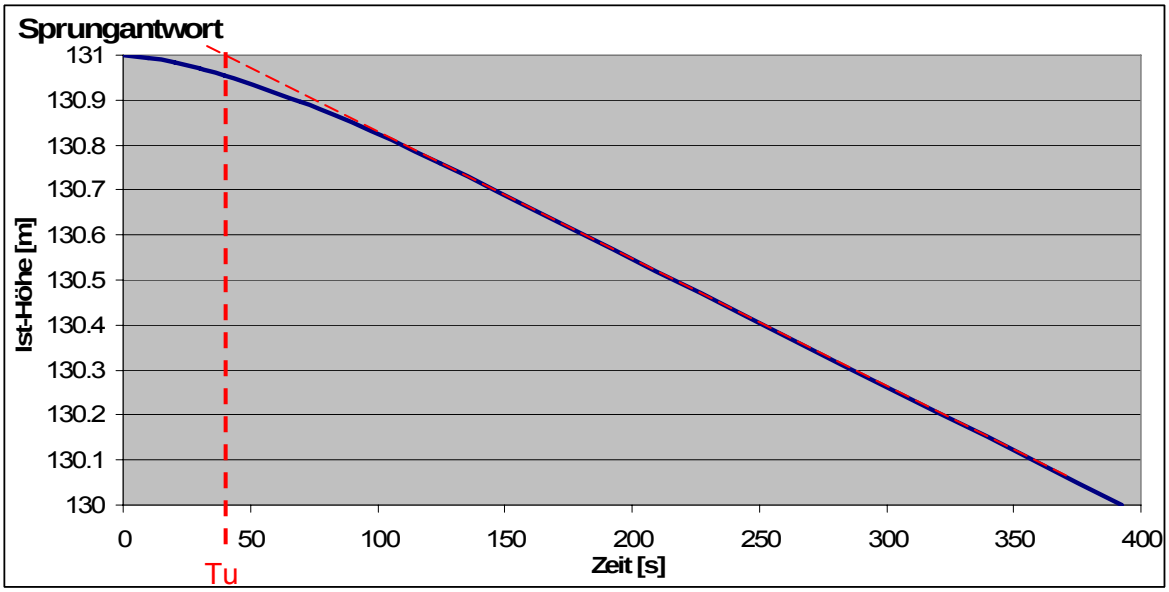


Abbildung 5-39: Sprungantwort

Diese Angaben entsprechen dem tatsächlichen Verlauf der Höhe, wie sie im Entsander beobachtet werden kann. Da in unserem Fall die Höhe aber mit einem Drucksensor gemessen wird, kommen noch sehr grosse Totzeiten und Druckschwingungen hinzu. Vor allem die Totzeiten führen dazu, dass die Regelstrecke sehr schwierig zu regeln und vor allem sehr schwierig zu berechnen ist.

5.9.8 Regler

Da das Verhalten der Regelstrecke nicht exakt ermittelt werden konnte, wird auf eine exakte mathematische Herleitung der Regler-Parameter verzichtet. Stattdessen wird der Regler auf die nachfolgend beschriebene Art ermittelt:

Wie im vorherigen Kapitel festgestellt werden konnte, hat die Regelstrecke integrierendes Verhalten. Deshalb wird auf einen I-Anteil beim Regler verzichtet. Dieser würde den Regelkreis nur unnötig instabil machen. Da wegen der sehr trägen Regelstrecke kein schnelles reagieren des Reglers gefragt ist, wird auch auf einen D-Anteil verzichtet. Somit wird ein einfacher P-Regler eingesetzt.

Der P-Regler soll um den Arbeitspunk regeln. Da bei der Untersuchten Anlage im Normalfall die Düse ganz geöffnet ist, wird dies auch als Arbeitspunkt gewählt.
Der Regler hat somit 5000 mV am Ausgang, wenn die Regeldifferenz null ist. Der Regelalgorithmus lautet dann folgendermassen:

$$y = 5000\,mV - K_R \cdot e$$

Wobei y der Stellbefehl, K_R die Reglerverstärkung und e die Regeldifferenz sind.
Die Reglerverstärkung soll genügend gross gewählt werden, dass sich die Düse so schliesst, dass der Entsander nicht ganz entleert wird.
Am tiefsten Punkt im Entsander ist eine Regeldifferenz von 1.5 m erreicht. Dann soll die Düse auf die minimal zulässige Öffnung x_{min} geschlossen haben. Das Stellsignal hat dann noch folgende Grösse:

$$y_{\min} = \frac{x_{\min} \cdot 5000\,mV}{100\,\%}$$

X_{min} ist die minimale Düsenöffnung in Prozent.

Diese Stellgrösse soll bei einer Regeldifferenz von 1.5 m erreicht werden. Wird nun diese Gleichung beim Regelalgorithmus eingesetzt, folgt daraus:

$$\frac{x_{\min} \cdot 5000\,mV}{100\,\%} = 5000\,mV - K_R \cdot 1.5\,m$$

Diese Gleichung kann nach K_R aufgelöst werden und ergibt:

$$K_R = 3333.3\,\frac{mV}{m} - 33.3\,\frac{mV}{m \cdot \%} \cdot x_{\min}$$

Somit lautet der gesamte Regelalgorithmus in Abhängigkeit der Regeldifferenz und der einstellbaren minimalen Düsenöffnung:

$$\underline{\underline{y = 5000\,mV - \left(3333.3\,\frac{mV}{m} - 33.3\,\frac{mV}{m \cdot \%} \cdot x_{\min}\right) \cdot e}}$$

Eine Kontrolle bestätigt die Richtigkeit des Regelalgorithmus:
Wird eine minimale Düsenöffnung von 10 % (ein zehntel der möglichen Düsenöffnung) eingestellt soll sich bei einer Regeldifferenz von 1.5 m das Stellsignal von 5000 mV auf 500 mV verkleinern:

$$y = 5000\,mV - \left(3333.3\,\frac{mV}{m} - 33.3\,\frac{mV}{m \cdot \%} \cdot x_{\min}\right) \cdot 1.5\,m = 500\,mV$$

5.10 Mechanik

Die mechanischen Probleme befassen sich vor allem mit der Verstellung der Düse. Ausserdem sind montagetechnische Aspekte zu berücksichtigen, damit die verschiedenen Komponenten fachmännisch montiert werden können.

5.10.1 Support-Rohr

Für die Montage von elektromechanischen Komponenten und die Verlegung der dazugehörigen Signal- und Leistungskabel ist ein Support-Rohr erstellt worden. Dieses Vierkantrohr verläuft parallel über der Druckleitung. Die verschiedenen Komponenten sind direkt am Support-Rohr angebracht. So bleibt die Druckleitungen für Wartungsarbeiten zugänglich.
Die Signal und Leistungskabel für die Komponentenverdrahtung werden im Rohr geführt. Der Schutz der Kabel ist dadurch gewährleistet und ein zusätzlicher Kabelkanal wird somit nicht benötigt.

Abbildung 5-40: Support-Rohr

5.10.2 Düsenverstellung

Da sich die Spindel je nach Position des Düsenhebels nach unten oder oben neigt, muss die Motorenhalterung so angebracht sein, dass diese bei jeder Düsenstellung immer parallel zur Spindel steht. Die Motorenhalterung ist deshalb direkt auf der Spindelhalterung montiert, welche sich über dem Turbinengehäuse befindet. Für die Fertigung der Motorenhalterung sind CAD-Zeichnungen erstellt worden, welche auf der beiliegenden CD unter Dokumentation / Dokumentationsdetails zu finden sind. Eine Übersicht der Einzelteile der Motorenhalterung ist unten dargestellt.

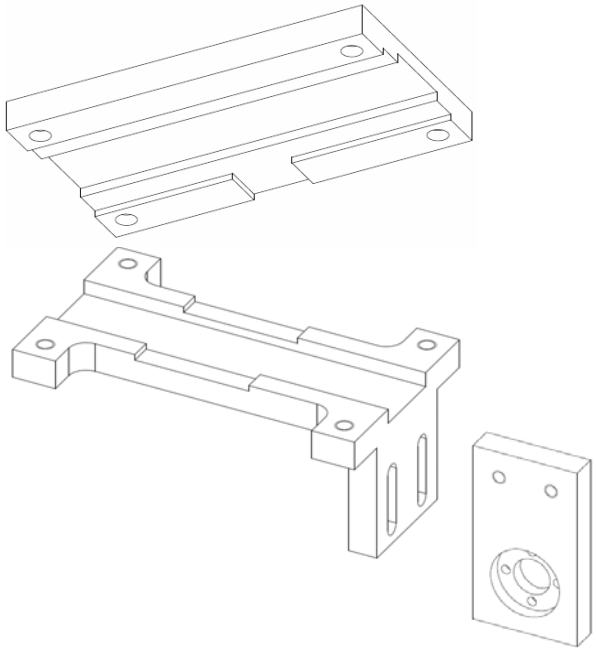


Abbildung 5-41: Motorenhalterung

Das Drehmoment des Getriebemotors wird mittels zwei Zahnriemenräder und Zahnriemen auf die Spindel übertragen. Damit das Radialmoment auf die Getriebemotorwelle möglichst klein gehalten wird, ist das Zahnriemenrad mit der Lauffläche zum Getriebemotor hin montiert.
Damit die Referenzposition und die beiden Endpositionen des Düsenhebels erkannt werden können, sind auf dem neu erstellten Support-Rohr die entsprechenden Endschalter befestigt. Dank der Montage mittels einer C-Schiene und Nutensteinen können die Endschalter beliebig justiert werden. Die nachfolgende Abbildung soll dies veranschaulichen.

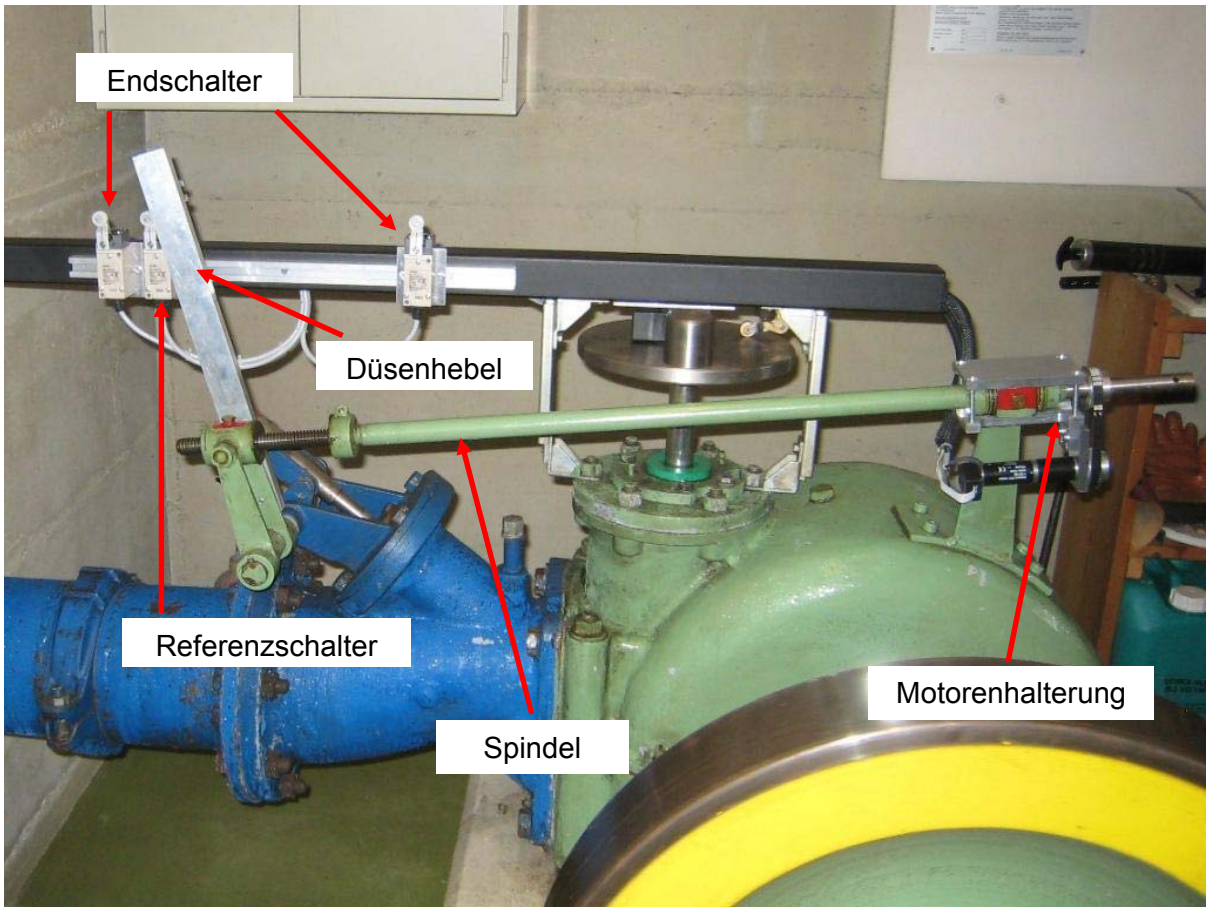


Abbildung 5-42: Komponenten zur Düsenverstellung

5.11 Schaltschrank

5.11.1 Montageposition Schaltschrank

Bei der Festlegung der Montageposition des neuen Schaltschranks wird darauf geachtet, dass die bereits vorhandenen und angeschlossenen Kabel weiterhin verwendet werden können. Besonders die Kabel zum Generator, sind nur mit grösserem Aufwand zu ersetzen. Diese sind nämlich im Boden und durch den Generatorsockel geführt. Im Gegensatz dazu bereitet die Ersetzung der Signal und Leistungskabel für Endschalter, Strahlablenker-Elektromagnet, etc. weniger Mühe.

5.11.2 Komponentenanordnung

Nach der festgelegten Montageposition des Schaltschranks, wird nun weiter die Anordnung der Klemmen bestimmt. Da bestimmte Kabel wieder verwendet werden sollen, richtet sich die Anordnung stark an diese bereits installierten Kabel. Trotz den vorgegebenen Bedingungen wird darauf geachtet, dass stets Leistungskreis- und Steuerkreisklemmen separiert angeordnet sind.
Die Komponenten sind ebenfalls so anzuordnen, dass Leistungs- und Steuerkreise möglichst separiert sind. Es wird angestrebt möglichst wenige Leiter der beiden Kreise parallel zu verlegen. Die auf der nächsten Seite folgende Abbildung zeigt die Anordnung der Komponenten im Schaltsschrank.

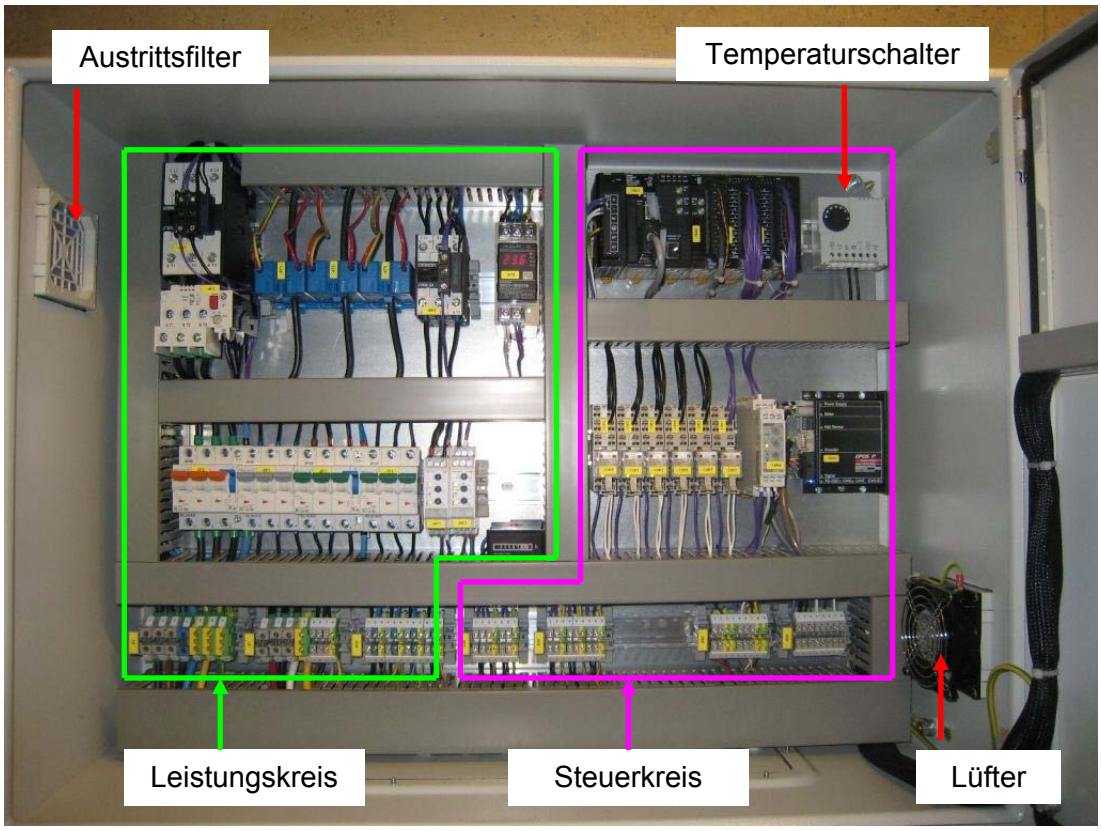


Abbildung 5-43: Komponentenanordnung

5.11.3 Klimatisierung

Ein häufig missachtetes Thema ist die Schaltschrankklimatisierung. Vielfach wird nicht im Voraus erkannt wie viel Wärmeenergie einzelne Komponenten im Schaltschrank abgeben. Ohne Herstellerangaben, was oft der Fall ist, kann dies ohne Erfahrung nur schwer abgeschätzt werden. Zudem weisen bei grossem Stromfluss die einzelnen Leiter und Kontaktelemente ebenfalls eine gewisse Verlustleistung auf, was sich wiederum als Wärmeentwicklung widerspiegelt.
Des Weiteren muss die Umgebungstemperatur berücksichtigt werden, denn nur anhand von dieser und der im Schrank anfallenden Wärmeenergie kann die Klimatisierungsart festgelegt werden. Nebst der Klimatisierungsart und der gesamten Abwärme der Komponenten ist auch die Anordnung der Elemente im Schaltschrank von Bedeutung.
Da der Netz-Koppelschütz die grösste Wärmeentwicklung im Schaltschrank verursacht, ist dieser unmittelbar in der Nähe des Luftaustrittsfilters montiert. Die Steuerungskomponenten sind auf der rechten Seite im Schaltschrank montiert. Die Luft wird rechts unten angesaugt und links oben ausgeblasen. Dies wurde so gewählt, weil die wärmere Luft nach oben steigt und sich die kühle Druckleitung auf der rechten Seite befindet.
Der Lüfter muss arbeiten wenn die Temperatur im Schaltschrank über 30°C beträgt. Liegt die Lufttemperatur darunter, so ist kein Luftaustausch notwendig und der Ventilator kann

abgeschaltet werden. Zu diesem Zweck befindet sich oben rechts im Schaltschrank ein Temperaturschalter.

5.11.4 Verdrahtungsprüfung

Nachdem der Schaltschrank fertig zusammengebaut und verdrahtet ist, erfolgt als nächstes die Verdrahtungsprüfung. Mit einem Durchgangsprüfer wird anhand des Elektroschemas jede Verbindung überprüft. Wichtig ist, dass diese Prüfung nicht diejenige Person macht, welche den Schaltschrank verdrahtet hat.
Nach erfolgreich beendeter Durchgangsprüfung werden die Leiter auf festen Sitz überprüft. Die anschliessend durchgeführte Isolationsmessung ergab Isolationswiderstände > 1 GΩ.

Nun kann der Schaltschrank an den Einspeiseklemmen mit Spannung beaufschlagt werden. Die schaltschrankinternen Sicherungen werden sukzessive eingeschaltet. Die Status-LEDs von Anzeigegeräte, SPS und Überwachungsrelais leuchten bei Spannungsbeaufschlagung. Der Schaltschrank kann jetzt bezüglich seiner Funktion geprüft werden.

5.12 Erster Funktionstest

Ein erster Funktionstest der zusammengebauten Steuerung und Regelung wird vor dem Einbau durchgeführt. Vorerst muss die Software auf die SPS und die EPOS P geladen werden. Digitale und analoge Signale der Kraftwerkanlage werden für den Vortest simuliert. Die verschiedenen Tests sind in Kapitel 6 näher erläutert.

Als erstes werden die Sicherheitsrelevanten Funktionen überprüft. Das heisst, es werden zuerst die Fehlersimulationen wie Druckschalter, Phasenausfall, etc. durchgeführt. Nach dem erfolgreichen abschliessen dieser Tests erfolgt nun der Funktionstest der Steuerung.

Während den Tests wird auch die Bedienbarkeit der Anlage untersucht, denn der Anlagenbesitzer erwartet eine einfach zu bedienende Anlage. Auf dem Display werden die aufgetreten Fehler angezeigt. Somit ist für den Anlagenbetreiber die Art des Fehlers sofort feststellbar.

Das folgende Bild zeigt den Funktionstest, welcher im Labor aufgebaut wurde:

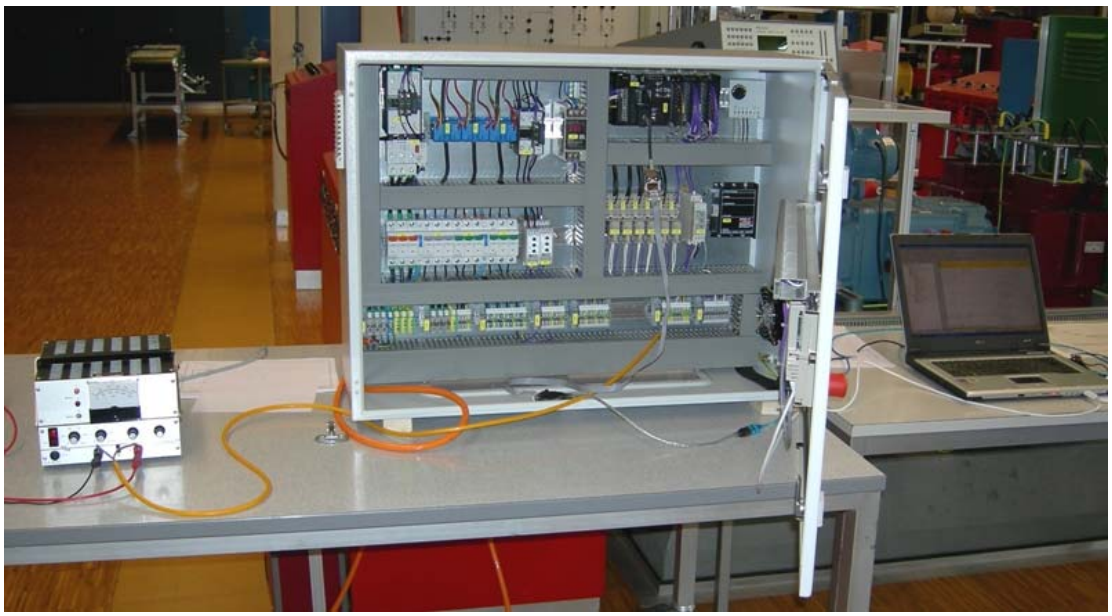


Abbildung 5-44: Funktionstest

5.13 Einbau der neuen Steuerung

5.13.1 Montage

Bei der Montage der neuen Steuerung wird grossen Wert auf eine möglichst kurze Betriebsunterbrechung der Kraftwerkanlage gelegt. Zu diesem Zweck ist eine gute Vorbereitung der Montage grundlegend.

Vorgehen Montage:

1. Tag
    1. Werkzeug und Montagematerial bereitlegen
    2. Material auf Vollständigkeit überprüfen
    3. Kraftwerkanlage abschalten
    4. Hauptschalter ausschalten
    5. Gegen Wiedereinschalten sichern
    6. Spannungsfreiheit überprüfen
    7. Phasenfolge Generator – Netz festhalten
    8. Demontage alter Steuerschrank und Kabelkanal
    9. Demontage Elektromagnet und Endschalter Strahlablenker
    10. Montage neuer Schaltschrank und Kabelkanal
    11. Montage Support-Rohr
    12. Montage Elektromagnet und Endschalter Strahlablenker
    13. Kabel verlegen und aufschalten
    14. Verdrahtung auf Richtigkeit und festen Sitz überprüfen
    15. Phasenfolge Generator – Netz überprüfen
    16. Anlage in Betrieb nehmen
    17. Sicherheitsrelevante Tests durchführen
2. Tag
    1. Werkzeug und Montagematerial bereitlegen
    2. Kraftwerkanlage abschalten
    3. Hauptschalter ausschalten
    4. Gegen Wiedereinschalten sichern
    5. Spannungsfreiheit überprüfen
    6. Montage Düsenhebel-Verlängerung und Endschalter Düsenregulierung
    7. Montage Antriebseinheit für Regelung
    8. Montage Signallampen
    9. Kabel verlegen und aufschalten
    10. Verdrahtung auf Richtigkeit und festen Sitz überprüfen
    11. Anlage in Betrieb nehmen
    12. Sicherheitsrelevante Tests durchführen

Nach 15 Stunden Montagearbeit pro Person ist die Anlage für die detaillierten Tests gemäss Kapitel 6 bereit.

Das Folgende Bild zeigt den Maschinenraum nach der Installation der neuen Komponenten:

Abbildung 5-45: Maschinenraum nach dem Umbau

5.13.2 Inbetriebnahme Steuerung

Vor der ersten Inbetriebnahme der Anlage werden die Sicherheitsfunktionen auf ihre korrekte Funktion überprüft. Obwohl bei den Vortests die Steuerung ausgiebig getestet wurde, werden dieselben Tests nochmals auf der Anlage durchgeführt. Dies ist notwendig, da ein fehlerhafter Anschluss an den Klemmen des Schaltschranks zu einem Fehlverhalten der Steuerung führen könnte. Die einzelnen Testfälle sind detailliert in der Testphase beschrieben.

Da bei den Fehlersimulations-Tests die Anlage in Volllastbetrieb sein muss, wird als erstes der Funktionstest Einschaltdrehzahl durchgeführt. So wird sichergestellt, dass der Generator genau bei der synchronen Drehzahl ans Netz geschaltet wird.
Des Weiteren werden anschliessend an die Inbetriebnahme die verbleibenden Funktions- und Fehlersimulationstests gemäss dem Kapitel 6 durchgeführt. Da alle Tests erfolgreich abgeschlossen sind, kann die Anlage nun mit der neuen Steuerung sicher betrieben werden.

5.13.3 Inbetriebnahme Regelung

Die Regelung wird auf dem Display aktiviert. Nun wird beim Wassereinlauf der Plattenschieber auf Stellung 2 gesetzt. Der verminderte Wassereinlauf verursacht eine Pegelabsenkung des Wassers im Entsander. Die Regelung greift somit ein und schliesst die Düse. Nach einigen Versuchen mit verschiedenen Regelparametern wird ersichtlich, dass die Düse bei Unterschreitung des Sollwertes auf die Stellung der minimalen Öffnung schliesst. Steigt der Wasserpegel wegen dem verminderten Abfluss über die Sollhöhe, so öffnet die Düse wieder auf 100 %. Grundsätzlich kann gesagt werden, dass das Ziel erreicht wurde. Die Regelung hat ein Abschalten des Kraftwerks verhindert. Jedoch ist eine Verbesserung der Regelung anzustreben, denn die Düsenöffnung sollte je nach Wassermenge die in den Entsander einläuft auf einem bestimmten Wert verharren und nicht zwischen voll offen und minimaler Öffnung hin und her pendeln. Da die Regelstrecke extrem träge ist, verbleibt die Düsenöffnung in den jeweiligen Endpositionen für fast 10 Minuten. Der Stellmotor für die Düsenverstellung wird somit nicht überbeansprucht.

5.14 Erkenntnisse und Ausblick

Die Realisierungsphase hat gezeigt, dass nicht immer alles so funktioniert wie es zuvor geplant war. Jedoch verlief die Phase trotz einigen Schwierigkeiten gut.
Die sehr schwierig zu beschreibende Regelstrecke ist wegen der grossen Totzeit auch schwierig zu kontrollieren. Weitere Bemühungen sind deswegen noch bezüglich der Anpassung des Regelalgorithmus zu machen.
In erster Linie ist die nächste Phase zu erarbeiten. Diese beschäftigt sich mit den diversen Funktions- und Fehlersimulationstest.

Lucerne University of
Applied Sciences and Arts
HOCHSCHULE
LUZERN
Engineering & Architecture

Kapitel 6

Testphase

Verfasser
Tobias Burch
Silvan Gisler

6 Testphase

Es ist sehr wichtig der Testphase grosse Beachtung zu schenken und die bevorstehenden Fehlersimulation- und Funktionstests gewissenhaft durchzuführen. Die Anlage darf erst an den Besitzer übergeben werden, wenn alle Testfälle durchgeführt werden konnten und jeweils die erwarteten Ergebnisse erreicht wurden.

6.1 Fehlersimulation

6.1.1 Not-Aus

Vorbedingungen	Anlage läuft in Volllastbetrieb
Fehlersimulation	Not-Aus Taste betätigen
Erwartete Ergebnisse	Strahlablenker fällt in Arbeitsstellung Generator wird vom Netz getrennt Touchscreen: Fehler Not-Aus
Nachbedingungen	Anlage nicht einschaltbar bis Fehler behoben

6.1.2 Druckschalter

Vorbedingungen	Anlage läuft in Volllastbetrieb
Fehlersimulation	Druckschalter löst aus (Druckabfall in Druckmessleitung verursachen)
Erwartete Ergebnisse	Strahlablenker fällt in Arbeitsstellung Generator wird vom Netz getrennt Touchscreen: Fehler Druckschalter
Nachbedingungen	Anlage nicht einschaltbar bis der Fehler behoben ist

6.1.3 Phasenausfall L1

Vorbedingungen	Anlage läuft in Volllastbetrieb
Fehlersimulation	Phase L1 fällt aus (an Spannungsüberwachungsrelais L1 unterbrechen)
Erwartete Ergebnisse	Strahlablenker fällt in Arbeitsstellung Generator wird vom Netz getrennt Touchscreen: Fehler Netzspannung
Nachbedingungen	Anlage nicht einschaltbar bis Fehler behoben

6.1.4 Phasenausfall L2

Vorbedingungen	Anlage läuft in Volllastbetrieb
Fehlersimulation	Phase L2 fällt aus (an Spannungsüberwachungsrelais L2 unterbrechen)
Erwartete Ergebnisse	Strahlablenker fällt in Arbeitsstellung Generator wird vom Netz getrennt Touchscreen: Fehler Netzspannung
Nachbedingungen	Anlage nicht einschaltbar bis Fehler behoben

6.1.5 Phasenausfall L3

Vorbedingungen	Anlage läuft in Volllastbetrieb
Fehlersimulation	Phase L3 fällt aus (an Spannungsüberwachungsrelais L3 unterbrechen)
Erwartete Ergebnisse	Strahlablenker fällt in Arbeitsstellung Generator wird vom Netz getrennt Touchscreen: Fehler Netzspannung
Nachbedingungen	Anlage nicht einschaltbar bis Fehler behoben

6.1.6 Netzfrequenz

Vorbedingungen	Anlage läuft in Volllastbetrieb
Fehlersimulation	Speisespannung Frequenzrelais unterbrechen
Erwartete Ergebnisse	Strahlablenker fällt in Arbeitsstellung
	Generator wird vom Netz getrennt
	Touchscreen: Fehler Netzfrequenz
Nachbedingungen	Anlage nicht einschaltbar bis Fehler behoben

6.1.7 Überdrehzahl

Vorbedingungen	Hauptschalter eingeschaltet
	Anlage ausgeschaltet
	Koppelschütz gegen Einschalten gesichert
	Strahlablenker in Arbeitsstellung
	Maschinenwelle steht still
Fehlersimulation	Strahlablenker anheben bis max. 1’100 U/min erreicht sind
Erwartete Ergebnisse	Relais Überdrehzahl schaltet bei 1'050 U/min
	Touchscreen: Fehler Überdrehzahl
Nachbedingungen	Anlage nicht einschaltbar bis Fehler behoben

6.1.8 Motorschutzschalter

Vorbedingungen	Anlage läuft in Volllastbetrieb
Fehlersimulation	Am Motorschutzschalter die Test-Taste drücken
Erwartete Ergebnisse	Strahlablenker fällt in Arbeitsstellung
	Generator wird vom Netz getrennt
	Touchscreen: Fehler Motorschutzschalter
Nachbedingungen	Anlage nicht einschaltbar bis Fehler behoben

6.1.9 Generatorschütz

Vorbedingungen	Schliesserkontakt für Generatorschützkontrolle entfernen Hauptschalter eingeschaltet
Fehlersimulation	Anlage einschalten Strahlablenker anheben
Erwartete Ergebnisse	Nach erreichen der synchronen Drehzahl schaltet die Anlage sofort wieder aus Touchscreen: Fehler Generatorschütz
Nachbedingungen	Anlage nicht einschaltbar bis Fehler behoben

6.1.10 Kondensatorschütz

Vorbedingungen	Schliesserkontakt für Kondensatorschützkontrolle entfernen Hauptschalter eingeschaltet
Fehlersimulation	Anlage einschalten Strahlablenker anheben
Erwartete Ergebnisse	Nach erreichen der synchronen Drehzahl schaltet die Anlage kurz ein, danach sofort wieder aus Touchscreen: Fehler Kondensatorschütz
Nachbedingungen	Anlage nicht einschaltbar bis Fehler behoben

6.2 Funktionstest

6.2.1 Einschaltdrehzahl (Unterdrehzahl)

Vorbedingungen	Hauptschalter eingeschaltet Anlage ausgeschaltet Koppelschütz gegen einschalten gesichert Strahlablenker in Arbeitsstellung Maschinenwelle steht still
Funktionstest	Strahlablenker anheben bis max. 1’100 U/min erreicht sind
Erwartete Ergebnisse	Relais Unterdrehzahl schaltet bei 1'000 U/min
Nachbedingungen	–

6.2.2 Anlage einschalten

Vorbedingungen	Hauptschalter eingeschaltet Anlage ausgeschaltet Strahlablenker in Arbeitsstellung Maschinenwelle steht still
Funktionstest	Anlage einschalten Fehler Strahlablenker anheben schliessen Strahlablenker anheben
Erwartete Ergebnisse	Maschinenwelle dreht Koppelschütz schaltet bei 1'000 U/min ein Kompensation schaltet nach Koppelschütz mit der eingestellten Zeitverzögerung ein Touchscreen: Keine Fehlermeldung
Nachbedingungen	Anlage läuft in Volllastbetrieb

6.2.3 Anlage ausschalten

Vorbedingungen	Anlage läuft in Volllastbetrieb
Funktionstest	Anlage ausschalten
Erwartete Ergebnisse	Strahlablenker fällt in Arbeitsstellung
	Generator wird vom Netz getrennt
	Düse fährt zur Ausschaltposition
	Touchscreen: Kraftwerk nicht in Betrieb
Nachbedingungen	Maschinenwelle steht still

6.2.4 Düsenverstellung (zu)

Vorbedingungen	Anlage läuft in Volllastbetrieb
	Regelung aus
Funktionstest	Düsenöffnung von 0 % eingeben
Erwartete Ergebnisse	Strahlablenker fällt in Arbeitsstellung
	Generator wird vom Netz getrennt
	Touchscreen: Fehler Rückleistung
Nachbedingungen	Maschinenwelle steht still

6.2.5 Düsenverstellung (50 %)

Vorbedingungen	Anlage läuft in Volllastbetrieb
	Regelung aus
Funktionstest	Düsenöffnung von 50 % eingeben
Erwartete Ergebnisse	Düse schliesst auf 50 % Öffnung
Nachbedingungen	Anlage läuft mit Düsenöffnung 50 %

6.2.6 Düsenverstellung (auf)

Vorbedingungen	Anlage läuft im Teillastbetrieb
	Regelung aus
Funktionstest	Düsenöffnung von 100 % eingeben
Erwartete Ergebnisse	Düse öffnet auf 100 % Öffnung
Nachbedingungen	Anlage läuft mit Düsenöffnung 100 % (Volllastbetrieb)

6.2.7 Regelung 1

Vorbedingungen	Anlage läuft im Volllastbetrieb Regelung ein
Funktionstest	Plattenschieber bei Wassereinlauf auf Stellung 2 stellen
Erwartete Ergebnisse	Düse schliesst und öffnet automatisch Im Teillastbetrieb schaltet die Signallampe „Wassermangel“ ein
Nachbedingungen	Anlage läuft im Teillastbetrieb

6.2.8 Regelung 2

Vorbedingungen	Anlage läuft im Teillastbetrieb Regelung ein Signallampe „Wassermangel“ leuchtet
Funktionstest	Plattenschieber wird voll geöffnet
Erwartete Ergebnisse	Düse öffnet sich automatisch Bei Volllastbetrieb schaltet die Signallampe „Wassermangel“ aus
Nachbedingungen	Anlage läuft im Volllastbetrieb

6.2.9 Datenaufzeichnung

Die Datenaufzeichnung ist schwierig zu überprüfen, da es sich um eine Langzeitaufzeichnung der Daten handelt. Daten werden für Tage, Monate und Jahre erfasst. Für ein paar Versuche wird der Tag gewechselt ein anderer Monat oder ein anderes Jahr gewählt. Der Wert der produzierten elektrischen Wirkenergie muss im Speicher des jeweilig gewählten Tages abgelegt werden. Am Ende eines Monats müssen die Tageswerte des Monats addiert werden und unter dem Entsprechenden Jahr und Monat abgelegt werden. Anhand von ein paar solchen erfolgreich ausgeführten Tests wird die Funktion der Datenaufzeichnung als korrekt angenommen.

6.3 Erkenntnisse und Ausblick

Es hat sich gezeigt, dass es zum Teil sehr schwierig ist je nach zu überprüfender Funktion vollständige Tests zu machen, wie dies z.B. bei der Datenaufzeichnung der Fall war. Andere Tests wiederum fallen um einiges leichter.
Werden in Zukunft Arbeiten an der Anlage ausgeführt, so muss nach deren Beendigung die Testphase nochmals vollständig und erfolgreich durchgearbeitet werden. Nur so kann gewährleistet werden, dass die Anlage einwandfrei funktioniert.
Die Anlage ist nun soweit getestet und kann sicher betrieben werden. Sofern alle notwendigen Anlagendokumente erstellt worden sind, kann die Anlage dem Kunden übergeben werden.

Lucerne University of
Applied Sciences and Arts
HOCHSCHULE
LUZERN
Engineering & Architecture

Kapitel 7

Projektabschluss

Verfasser
Tobias Burch
Silvan Gisler

7 Projektabschluss

7.1 Anlagendokumente und Übergabe

In diesem Kapitel werden kurz die ausgelieferten Anlagendokumente und die Übergabe der Anlage an den Besitzer beschrieben. Die vollständigen Anlagendokumente befinden sich in den Anhängen 1, 2 und 3 und auf der beiliegenden CD unter Dokumentation.

7.1.1 Anlagendokumente

Um die Kraftwerkanlage nach den gültigen Gesetzen und Richtlinien auszuliefern, sind einige Dokumente zu erstellen.
Eines der wichtigsten Dokumente ist die Bedienungsanleitung. Sie enthält Warnhinweise, Bedienungsanweisungen, Fehlerbeschreibungen und Wartungsanweisungen.

Das Dokument „Technische Dokumentation und Sicherheitsnachweis“ beinhaltet die Punkte Risikobeurteilung, Schutzmassnahmen, Sicherheitsbetrachtung, Prüfprotokoll und Qualitätssicherung Schutzmassnahmen. Darin integriert befindet sich die CE-Konformitätserklärung. Dieses Dokument macht es erst möglich die Steuerung von Gesetzeswegen ausliefern zu dürfen.

Des Weiteren gehört auch das Schema zu den wichtigen Anlagendokumenten. Vor allem für zukünftige Wartungen, Erweiterungen oder Reparaturen ist es ein sehr nützliches Dokument.

7.1.2 Übergabe

Die Anlage wurde in der letzten Phase des Projekts ausgiebig getestet. Mit den nun erstellten Anlagendokumenten kann der Kunde bezüglich der Bedienung und Wartung der modernisierten Kraftwerksanlage instruiert werden. Bei der Instruktion werden besonders die sicherheitsrelevanten Aspekte ausführlich erwähnt. Falls der Kunde nach der Übergabe der Anlage noch Unklarheiten bezüglich der Bedienung hat, so hat er die Möglichkeit in der Bedienungsanleitung auf diese Fragen eine Antwort zu finden.
Von nun an ist der Anlagenbesitzer für den sicheren Betrieb des Kleinwasserkraftwerks verantwortlich. Fallen ihm Unregelmässigkeiten auf, so hat er die Verpflichtung dementsprechend zu handeln.

7.2 Offene Arbeiten

7.2.1 Multifunktions-Anzeigeinstrument

Die Wahl für das Multifunktions-Anzeigeinstrument fiel auf den Hersteller Optec. Dieser hat uns ein kostengünstiges Gerät empfohlen, welches unseren Bedürfnissen entsprach. Doch bei der Programmierung dieses Geräts kamen viele Unklarheiten zum Vorschein. Dies war besonders deswegen, da die Menustruktur der Bedienungsanleitung nicht mit der des Multifunktionsgeräts übereinstimmte. Schliesslich wurde klar, dass das Gerät die von uns geforderten Funktionen nicht wie versprochen erfüllt. Da sich der technische Support des Herstellers als mangelhaft herausstellte, wurde das bestellte Gerät in gegenseitigem Einvernehmen zurückgesandt.

Bezüglich der schlechten Erfahrung mit der Firma Optec musste ein anderer Hersteller gefunden werden. Schnell wurde ersichtlich, dass der Hersteller Carlo Cavazzi, der die Netzspannungs-Überwachungsrelais liefert, ebenfalls solche Anzeigeinstrumente anbietet. Anhand von bereits getätigten Rückfragen erwies sich der Support von Seite Carlo Cavazzi als ausgezeichnet. Keine Mühe wurde gescheut und deshalb sogar mit dem Herstellerwerk in Italien telefoniert, um die Fragen unsererseits möglichst schnell zu beantworten.
Leider musste festgestellt werden, dass sich das bestellte Gerät WM14 nicht für die Erfassung der elektrischen Blindenergie für Generatorenbetrieb eignet. Nach Rücksprache mit dem Lieferant wurde ersichtlich, dass die Abklärungen bei der Bestellung von Seite des Lieferanten nicht genügend waren. Deshalb wurde anerboten, ein geeignetes Gerät vom Typ EM26 mit denselben Montagemassen im Austauschverfahren auszuliefern. Da diese Austauschlieferung keine Kostenfolge für uns als Kunden mit sich zog, wurde dieses Angebot dankend angenommen.
Doch leider stellte sich auch beim neu zugesandten Gerät heraus, dass noch immer ein kleiner Wunsch nicht abgedeckt werden konnte. Die elektrische Wirk- und Blindenergie wird vom Gerät korrekt erfasst. Jedoch wird nur die Wirkenergie an den Impulsausgängen ausgegeben. Gefordert wäre auch die Impulsausgabe der Blindenergie. Die SPS kann somit die vom Generator verursachte Blindenergie nicht erfassen. Diese Funktion ist für den Betrieb des Kraftwerks aber nicht unbedingt notwendig. Bei der Datenaufzeichnung hätte so aber auch die Blindenergie erfasst werden können. Die Wirkenergie wird korrekt gezählt und in der Datenaufzeichnung gespeichert. Weitere Abklärungen betreffend der Impulsausgabe von Blindenergie laufen.

7.2.2 Regelung

Die Regelung erwies sich bei der Inbetriebnahme mit dem erstimplementierten Regelalgorithmus als nicht optimal. Nach ein paar Änderungen des Algorithmus, wo der Einfluss der aktuellen Düsenöffnung verstärkt miteinbezogen wurde, sind neue Versuche gestartet worden. Diese ergaben eine kleine Verbesserung des Regelvorgangs. Das hin- und herpendeln der Düsenöffnungsstellung beträgt nun rund 60 %. Die Regelung verhindert ein Ausschalten der Anlage und erfüllt somit gemäss der Aufgabenstellung die erforderliche Funktion. Es sind noch weitere Optimierungen bezüglich des Regelalgorithmus vorzunehmen, um das Pendeln der Düsenöffnung möglichst klein zu halten.

7.2.3 Datensicherung

Die Werte der monatlichen elektrischen Wirkenergieproduktion werden im Speicher der SPS für maximal 3 Jahre festgehalten. Damit die Werte für längere Zeit auf einem anderen Speichermedium festgehalten werden können, müssen die Daten am Display abgelesen und notiert werden. Eine weitere Möglichkeit besteht darin, die Daten direkt von der SPS auf einen Computer zu übertragen. Mittels des seriellen Programmierkabels kann von der SPS-Programmiersoftware aus die Kommunikation zwischen SPS und Computer hergestellt werden. Per Copy-Paste Funktion können die Werte in eine Excel-Tabelle kopiert werden. Die Werte sind im SPS-Speicher bereits so eingetragen, dass sie der täglichen Energieproduktion untereinander angeordnet sind. Somit lassen sich die Daten in Excel ohne umzuschreiben gut verarbeiten.

Die Daten der täglichen elektrischen Energieproduktion sind wie folgt im Speicher der SPS angeordnet:

Tabelle 7-1: Speicherung Tageswerte

Tag	Aktueller Monat	Vorheriger Monat	Vorletzter Monat
1			
2			
3			
⋮			
⋮			
⋮			
31			

Ebenfalls liegen die Daten der monatlichen elektrischen Energieproduktion bereits geordnet wie folgt vor:

Tabelle 7-2: Speicherung Monatswerte

Monat	Aktuelles Jahr	Vorheriges Jahr	Vorletztes Jahr
Januar			
Februar			
März			
⋮			
⋮			
⋮			
Dezember			

Um die Daten noch komfortabler auszulesen, kann auf die in der SPS gespeicherten Daten per Ethernet-Schnittstelle zugriffen werden. Damit die Kommunikation mit der SPS aufgebaut werden kann, muss ein spezielles FINS-Kommunikationsprotokoll angewendet werden. Das heisst, für den Computer muss eine entsprechende Software implementiert werden, die das FINS-Protokoll anwendet. Es gibt auch die Möglichkeit sich eine Software vom SPS-Hersteller zu beschaffen, mit welcher auf die Daten im SPS-Speicher zugegriffen werden kann. Eine komfortable Weiterreichung der Daten in eine Excel-Tabelle muss aber auch hier noch implementiert werden.

7.3 Schlusswort

Nach rund 18 Wochen intensiver Projektarbeit dürfen wir mit Stolz die Modernisierung eines Kleinwasserkraftwerks abschliessen. Von ganz besonderer Freude ist der weitere Betrieb der Anlage mit der von uns geplanten und realisierten Steuerung und Regelung. Der Anlagenbesitzer ist sichtlich stolz auf die neue Errungenschaft. Er ist wohl einer der wenigen Kleinwasserkraftwerkbesitzer mit einer sehr modernen Steuerung. Unsere Bemühungen werden dem Anlagenbesitzer noch viele Jahre Freude bereiten.
An dieser Stelle möchten wir uns nicht über die vielen Arbeitsstunden beklagen, aber dennoch erwähnen, dass sich die investierten Arbeitsstunden auf über 800 aufsummiert haben. Motivationsprobleme kamen trotz problembehafteter Phasen nie auf. Das Ziel, im Juli eine neue Steuerung und Regelung dem Anlagenbesitzer zu übergeben, stand uns immer vor Augen.
Wenn wir die investierten Arbeitsstunden nebst den Materialkosten verrechnen dürften, so wird sofort ersichtlich, dass nicht einmal bei einem bescheidenen Ingenieuransatz eine solche Investition für einen Kleinkraftwerkbesitzer rentabel ist. Selbstverständlich sind von der investierten Zeit noch einige Stunden der Erstellung der ausführlichen Dokumentation gutzuschreiben. Aber trotz allem, eine Kleinwasserkraftwerkanlage ist und bleibt ein interessantes und ausgesprochen nützliches Hobby-Objekt.

Während der intensiven Erarbeitung der Diplomarbeit kamen leider die Familie, Freundin, Freunde und unsere Hobbys etwas zu kurz. Wir möchten uns für das entgegengebrachte Verständnis bedanken und werden spätestens im September wieder vermehrt Zeit mit euch verbringen dürfen.

Das Projekt hat viele fachspezifische Segmente angeschnitten. So war nicht nur elektro- und programmiertechnisches Wissen gefragt, sondern auch mechanisches Verständnis. Es ist deshalb verständlich, dass die erfolgreiche Fertigstellung dieser Diplomarbeit ohne Mithilfe von diversen anderen Personen nicht möglich gewesen wäre. Einen besonderen Dank möchten wir hiermit folgenden Personen aussprechen:

- Herr Werner Birrer, technischer Angestellter Maschinentechnik an der Hochschule Luzern - Technik & Architektur. Für die Druckmessung an der Druckleitung stellte er uns den einzubauenden Drucksensor mit den passenden Armaturen bereit.
- Herr Hans Burch, Verkauf Schweiz bei Maxon Motor AG. Er half uns bei der Beschaffung der geeigneten Antriebseinheit und der Motorsteuerung für die Düsenregulierung.
- Herr Mathias Burch, Konstrukteur bei Rosen Technologies. Bei der Erstellung der CAD-Zeichnungen für die Motorenhalterung hat er sein Können als Konstrukteur unter Beweis gestellt.

- Herr Patrick Degelo, Projektleiter und Maschinensicherheitsbeauftragter bei Komax AG. Rund um die Fragen zur Maschinensicherheit und den erforderlichen Anlagendokumenten half er uns stets und kompetent weiter.
- Herr Bruno Fleischli, technischer Angestellter Elektrotechnik an der Hochschule Luzern - Technik & Architektur. Er unterstützte uns in jeder Weise bei mechanischen und elektrotechnischen Fertigungsproblemen.
- Herr Prof. Jürg Habegger, hauptamtlicher Dozent Maschinentechnik an der Hochschule Luzern - Technik & Architektur. Bei Fragen zur Motorsteuerung EPOS P war er uns jederzeit behilflich.
- Herr Beat Manser, Schaltanlagenmonteur bei BSR-Eltec AG. Betreffend Fragen zur Schaltschrankfertigung half er uns mit Tipps und Werkzeugen weiter.
- Herr Willy Schilling, Produktverantwortlicher bei CARLO CAVAZZI AG. Bei der Problemlösung der Leistungs- und Energiemessung bemühte er sich in ausgesprochen kulanter Weise.
- Herr Stefan Schraven, Lehrmeister bei V-ZUG AG. Er konnte innert kürze eine Motorenhalterung für die Düsenverstellung anfertigen.
- Herr Markus Zimmermann, technischer Angestellter für elektrotechnischen Gebäudeunterhalt an der Hochschule Luzern - Technik & Architektur. Er war uns eine grosse Unterstützung bei der Beschaffung des Materials für die Fertigung und Montage des Schaltschranks.

Des Weiteren geht ein Dank an den Kraftwerkbesitzer, denn ohne sein Einverständnis und Investitionsengagement wäre diese Diplomarbeit nicht zustande gekommen. Wir wünschen dem Kraftwerkbesitzer und den Anlagenbediener viel Freude mit der neuen Steuerung und Regelung.
In ganz besonderer Weise möchten wir uns auch bei unserem Betreuer der Diplomarbeit, Herr Prof. Dr. Dominique Salathé bedanken. Immer wieder bekamen wir hilfreiche Tipps um das Projekt voranzutreiben.
Bei allen erwähnten Personen und all denjenigen die nicht explizit erwähnt wurden, welche aber in irgendeiner Weise zum gelingen unserer Diplomarbeit beigetragen haben, möchten wir uns herzlichst bedanken.

Unsere Freude über das gelungene Projekt ist sehr gross. Wir haben wohl eine der am meisten benutzten Diplomarbeiten erstellt. Denn die Kraftwerkanlage ist im Normalfall 24 Stunden am Tag in Betrieb und dies das ganze Jahr über.

Tobias Burch Silvan Gisler

8 Literatur

8.1 Bücher

Wahl, Dimensionierung und Abnahme einer Kleinturbine
M. Roth
PACER Bundesamt für Konjunkturfragen
ISBN: 3-905232-72-3

Generatoren und elektrische Installationen
R. Widmer
PACER Bundesamt für Konjunkturfragen
ISBN: 3-905232-70-7

Wasserturbinen
R. Widmer und H. Kaspar
PACER Bundesamt für Konjunkturfragen
ISBN: 3-905232-54-5

Turbinenregelung und Schutzmassnahmen
R. Widmer und U. Meier
PACER Bundesamt für Konjunkturfragen
ISBN: 3-905232-71-5

Technische Normen
EG-Maschinenrichtlinie 98/37/EG
Technische Dokumentation und Sicherheitsnachweis

Taschenbuch der Regelungstechnik
H. Lutz und W. Wendt
ISBN: 978-3-8171-1807-6

8.2 Internet

Kobel, Steuer und Regeltechnik für die Energieerzeugung
www.kobel.info

Verfasser

Tobias Burch
Sagenstrasse 10
6062 Wilen

Silvan Gisler
Oberfeld
6404 Greppen

Selbstständigkeitserklärung

„Hiermit erklären wir, dass wir die vorliegende Arbeit selbstständig angefertigt und keine anderen als die angegebenen Hilfsmittel verwendet haben. Sämtliche verwendeten Textausschnitte, Zitate oder Inhalte anderer Verfasser wurden ausdrücklich als solche gekennzeichnet.

Horw, 25. Juli 2008

Tobias Burch Silvan Gisler

Bedienungsanleitung

für das Kleinwasserkaftwerk

bei

Gebr. Burch, 6062 Wilen

Autoren:
Tobias Burch, Sagenstrasse 10, 6062 Wilen
Silvan Gisler, Oberfeld, 6404 Greppen

Dokumentversion: 1.1

Luzern, 25. Juli 2008

CE

Einführung

Dieses Dokument beschreibt den korrekten und fehlerfreien Betrieb des Kleinwasserkraftwerks, welches bei Gebr. Burch in 6062 Wilen installiert ist.

Verwendete Symbole

Warnhinweise
Kennzeichnet alle für die Sicherheit wichtigen Anweisungen.
Nichtbeachtung kann zu schweren Verletzungen, Schäden an der Anlage oder an der Einrichtung führen!

Anwenderhinweise
Kennzeichnet nützliche Anwenderhinweise, welche bei der Bedienung der Anlage hilfreich sein können.

Geltungsbereich und Einsatzbereich

Die Anlage ist für Parallelbetrieb am Netz des Elektrizitätswerk Obwalden erbaut worden und ist für Inselbetrieb nicht geeignet. Die Anlage muss an 3 x 400 VAC 3LNPE angeschlossen werden.

Dieses Dokument gilt für den Stand der Anlage am 25. Juli 2008. Alle nach diesem Datum vorgenommenen Änderungen führen zu einem Erlöschen der Gültigkeit dieses Dokuments.

Inhalt

1 Sicherheitshinweise 4
1.1 Sicherheitstechnische Grundregeln 4
2 Beschreibung Anlage und Komponenten 6
2.1 Sicherheitseinrichtungen 9
3 Navigieren im Menü 10
3.1 Startseite 10
3.2 Das Menü im Überblick 11
4 Referenzieren des Stellmotors 12
4.1 Starten einer Referenzierungsfahrt ohne Einschalten der Anlage 12
4.2 Starten einer Referenzierungsfahrt mit gleichzeitigem Einschalten der Anlage 12
5 Einstellen der Düsenöffnung 13
6 Inbetriebnahme der Anlage 14
7 Aktivieren und Deaktivieren der Regelung 15
8 Ablesen der Produzierten Energie 16
9 Anzeigen von Anlagenparameter 17
10 Ändern der Anlageneinstellungen 18
10.1 Einstellbare Parameter 18
10.2 Fehler unterdrücken 19
11 Datum und Uhrzeit des Touchscreens einstellen 19
11.1 Datum und Uhrzeit des Touchscreen einstellen 19
11.2 Datum und Uhrzeit der SPS einstellen 20
12 Pflege und Wartung 21
12.1 Mechanik 21
12.2 Elektrische Installationen 21
13 Fehlermeldungen / Fehlerbehebungen 22
13.1 Not-Aus betätigt 22
13.2 Netzspannungsfehler 23
13.3 Netzfrequenzfehler 23
13.4 Drehzahlfehler 23
13.5 Fehler Druckschalter 23
13.6 Fehler Motorschutzschalter 24
13.7 Fehler Generatorschütz 24
13.8 Fehler Kondensatorschütz 24
13.9 Fehler Rückleistung 24
13.10 Referenzierungsfehler 25
13.11 Positionierungsfehler 25
13.12 Warnung Teillastbetrieb 25
14 Technische Daten 26

1 Sicherheitshinweise

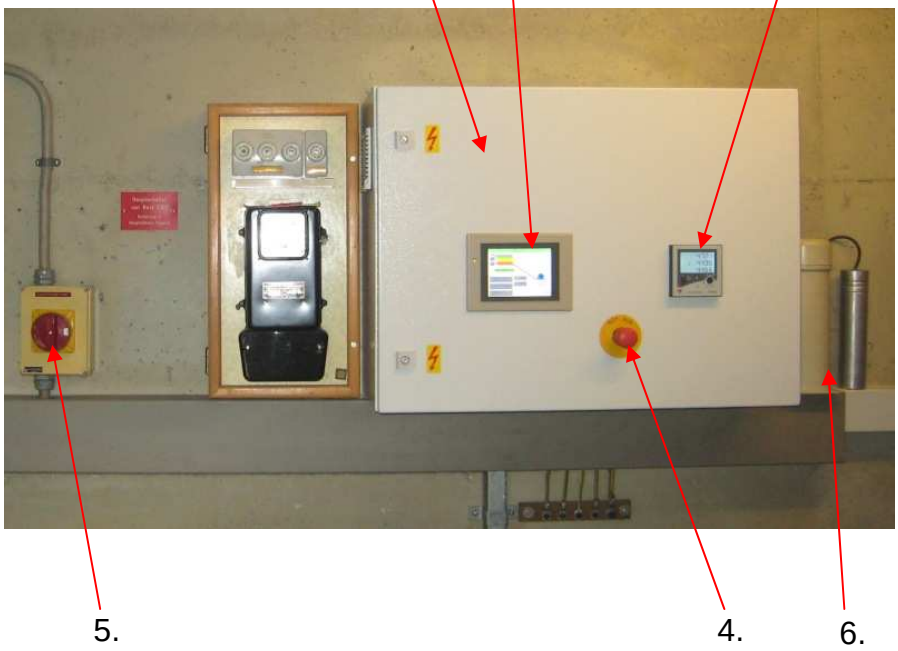
Vor Inbetriebnahme ist die Bedienungsanleitung vollständig zu lesen und zu verstehen. Die Anlage darf nur von instruiertem Fachpersonal betrieben werden. Bei jeglichen Unklarheiten und nicht beschriebenen Bedienungsfällen ist in jedem Fall sofort der Hersteller zu kontaktieren.

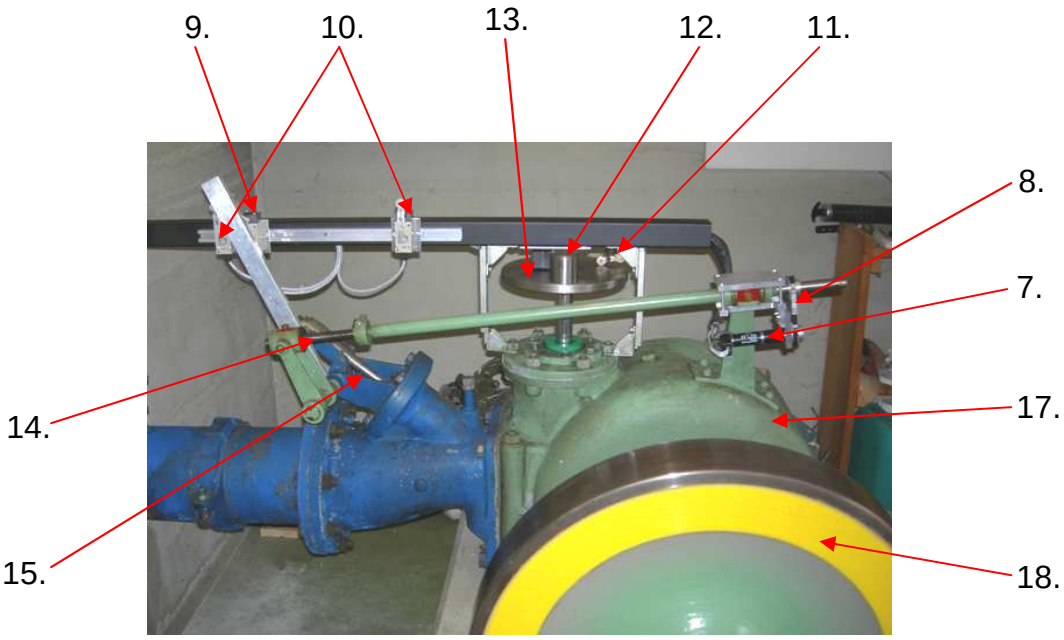
1.1 Sicherheitstechnische Grundregeln

> Beachten Sie neben den Hinweisen in der Bedienungsanleitung die allgemein gültigen Sicherheits- und Unfallverhütungsvorschriften!
> Die Anlage darf nur von instruiertem Fachpersonal betrieben werden!
> Der Benutzer ist gegenüber Dritten im Maschinenraum verantwortlich.
> Der Aufenthalt im Gefahrenbereich der Anlage ist verboten!
> Jede Person im Maschinenraum muss auf eng anliegende Kleidung achten!
> Der Maschinenraum darf nur von instruiertem Personal betreten werden!
> Machen Sie sich vor dem Arbeiten mit der Funktionsweise der Maschine vertraut!
> Zur Vermeidung von Brandgefahr oder mechanischen Schäden ist die Anlage sauber halten!
> Unmittelbar nach dem Verlassen des Maschinenraums ist dieser abzuschliessen!
> Der Schlüssel für den Maschinenraum darf nur instruiertem Personal ausgehändigt werden.
> Wartungs- und Reinigungsarbeiten sowie das Abnehmen oder Abklappen der Schutzeinrichtungen dürfen nur bei stillgesetzter Anlage vorgenommen werden.
> Defekte oder fehlende Schutzvorrichtungen müssen instand gesetzt oder erneuert werden, bevor die Maschine in Betrieb genommen wird.
> Vor der Inbetriebsetzung der Anlage ist die Betriebsanleitung genau durchzulesen!
> Die gesamte NOT-Aus-Einrichtung muss dem Bedienpersonal bekannt sein.
> Bei laufender Maschine keine Wartungs- oder Reparaturarbeiten durchführen!
> Schutz- und Sicherheitseinrichtungen dürfen nie verstellt werden.
> Man darf der Anlage nicht freie Flammen nähern!
> Achtung! Niemals mit den Händen in die Nähe des Gefahrenbereichs fassen!
> Es darf nie die Anlage gestartet oder Teile davon in Betrieb genommen werden, wenn sich jemand in der Nähe des Gefahrenbereichs befindet oder wenn nicht alle Schutzeinrichtungen montiert sind!
> Während Wartungs- und Instandhaltungsarbeiten darf nie die Anlage oder Teile davon in Betrieb genommen werden!
> Bei Wartungs- und Instandhaltungsarbeiten ist die Anlage gegen Wiedereinschalten zu sichern und vom Netz zu trennen!

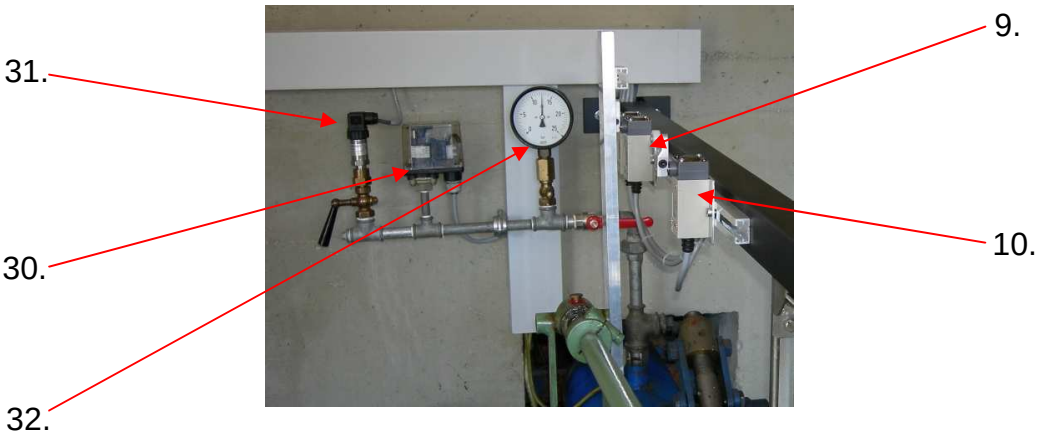
- Es dürfen nur Bedienungs- und Handhabungsschritte vorgenommen werden, welche in dieser Bedienungsanleitung explizit beschrieben sind.
- Die in der Bedienungsanleitung vorgegebene Reihenfolge muss befolgt werden.
- Anschlusskontakte und eingebaute Komponenten nicht berühren, solange die Einheit unter Spannung steht. Andernfalls kann es zu Funktionsstörungen oder Beschädigungen kommen, und es besteht Stromschlaggefahr. Vor öffnen des Schaltschranks immer den Anlagenhauptschalter ausschalten!
- Es muss wirksam verhindert werden, dass Fremdkörper irgendwelcher Art in die Nähe der Anlage gelangen welche diese beschädigen können.
- Regelmässige Inspektionen sind durchzuführen, um einen einwandfreien Betrieb sicherzustellen.
- Nach Änderungen an der Anlage muss unbedingt überprüft werden, ob alle Schutzfunktionen welche einen sicheren Betrieb der Anlage gewährleisten, noch korrekt funktionieren. Änderungen an der Anlage irgendwelcher Art führen aber zur sofortigen Aufhebung der Garantie für einen sicherheitsgewährleistenden Betrieb der Anlage von Seiten der Hersteller.

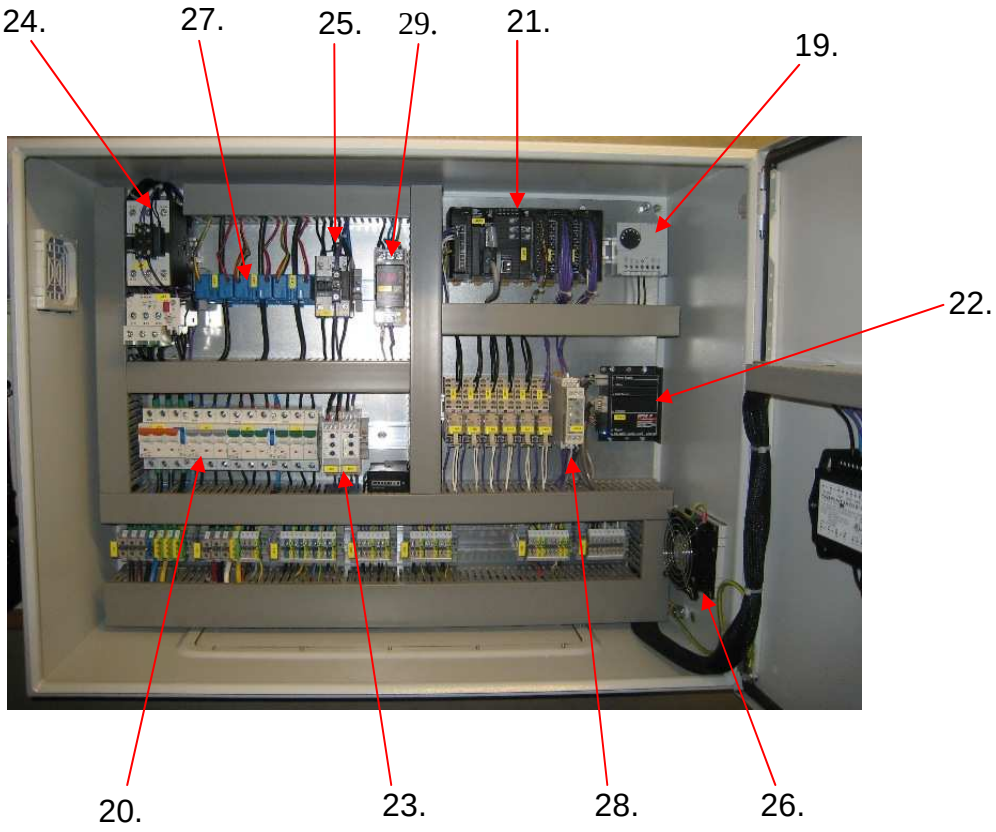
2 Beschreibung Anlage und Komponenten





17.
16.
18.


31.
9.
30.
10.
32.


24.
27.
25.
29.
21.
19.
22.
20.
23.
28.
26.

34.
33.

1. Schaltschrank
2. Touchscreen
3. Multifunktions-Anzeige
4. Not-Aus Schalter
5. Anlagen-Hauptschalter
6. Kondensatoren
7. Stellmotor
8. Zahnriemen
9. Referenzschalter
10. Endschalter
11. Strahlablenker-Schalter
12. Elektromagnet Strahlablenker
13. Strahlablenker
14. Spindel
15. Nadel
16. Generator
17. Turbinengehäuse
18. Schwungmasse
19. Thermostat für Schaltschranklüftung
20. Sicherungen
21. SPS
22. Maxon EPOS P
23. Netzüberwachungsrelais
24. Generatorschütz
25. Kondensatorschütz
26. Schaltschranklüfter
27. Stromwandler
28. Drehzahlüberwachungsrelais
29. 24 VDC Netzteil
30. Druckschalter
31. Drucksensor
32. Manometer
33. Signallampe Fehler (Blitzleuchte)
34. Signallampe Wassermangel

2.1 Sicherheitseinrichtungen

Die Anlage verfügt über folgende Sicherheitseinrichtungen:

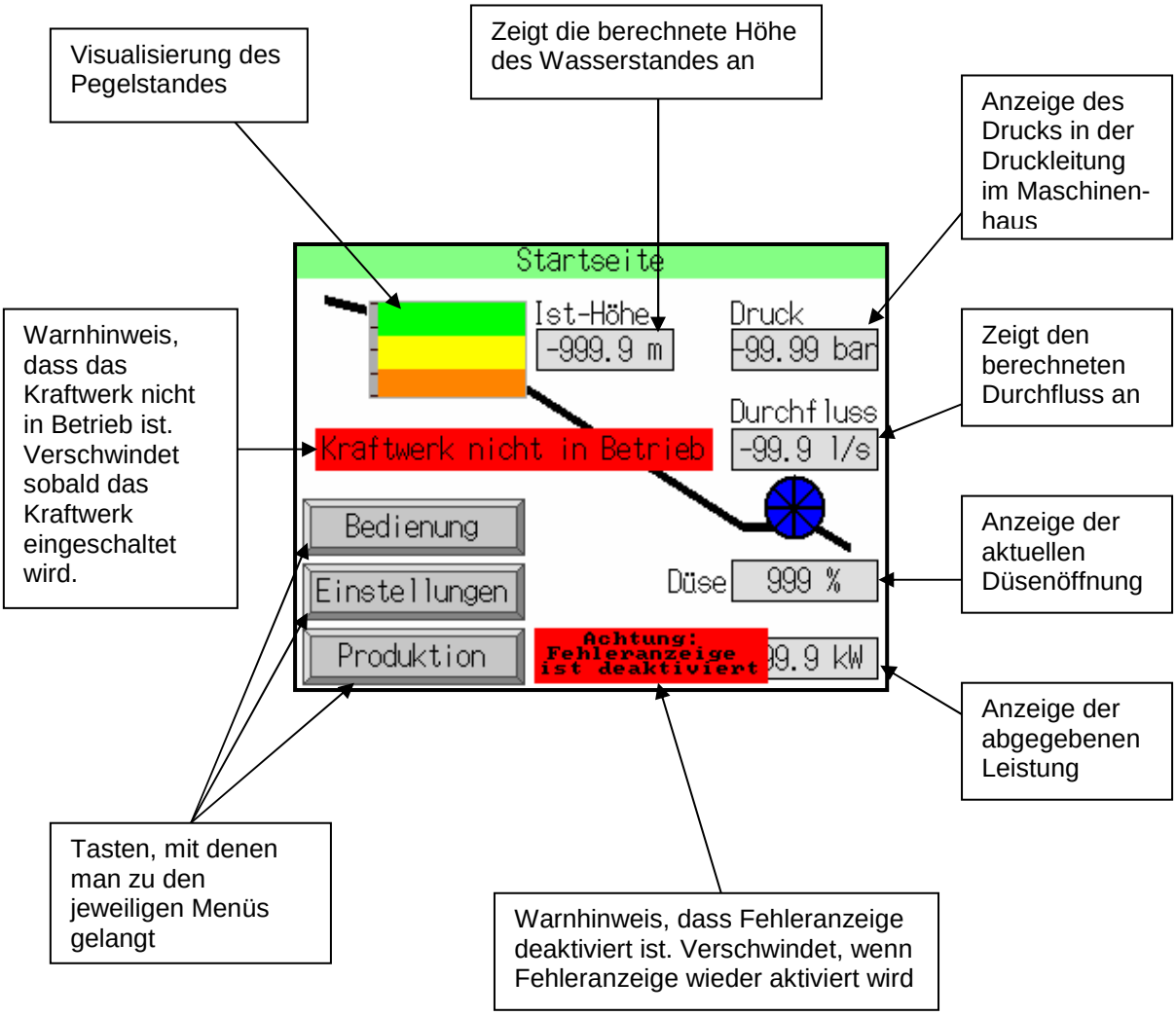
- Not-Aus Schalter
- Frequenzüberwachungsrelais
- Spannungsüberwachungsrelais
- Drehzahlüberwachungsrelais
- Druckschalter
- Kontrolle von Netzschütz und Kompensationsschütz
- Rückleistungsüberwachung

3 Navigieren im Menü

Die Bedienung der Anlage erfolgt hauptsächlich über das im Schaltschrank eingebaute Touchscreen. Wird der Anlagen-Hauptschalter eingeschaltet, so erscheint auf dem Bildschirm die Startseite. Die Navigation zwischen den einzelnen Anzeigefenstern erfolgt durch drücken der Tasten mit dem Finger auf den Touchscreen gemäss untenstehendem Schema.

3.1 Startseite

Auf der Startseite des Touchscreens werden die wichtigsten Daten über den Zustand des Kraftwerks aufgezeigt. Hier ist eine kurze Beschreibung der Angezeigten Daten:



3.2 Das Menü im Überblick

4 Referenzieren des Stellmotors

Wenn die Anlage neu ans Netz angeschlossen wird, der Netzschalter zwischenzeitlich ausgeschaltet wurde oder die Maxon EPOS P aus irgend einem Grund kurzzeitig keine Versorgungsspannung mehr hatte, so muss der Stellmotor neu referenziert werden.

4.1 Starten einer Referenzierungsfahrt ohne Einschalten der Anlage

1. Wenn auf dem Touchscreen die Startseite angezeigt wird, drücken sie die Taste „Bedienung“.
2. Drücken sie die Taste „>>>“ um auf die Seite „Bedienung [Seite 2]“ zu gelangen.
3. Drücken Sie die Taste „Referenzieren“
4. Eine Referenzierungsfahrt wird nun durchgeführt. Dabei öffnet sich die Düse auf etwa 90% (Bis der Referenzierungsschalter betätigt wird).

4.2 Starten einer Referenzierungsfahrt mit gleichzeitigem Einschalten der Anlage

1. Auf dem Touchscreen wird die Startseite angezeigt.
2. Drücken sie die Taste „Bedienung“ um auf die Seite „Bedienung [Seite 1]“ zu gelangen
3. Drücken sie die Taste „Kraftwerk ein- / ausschalten“.
4. Ein neues Fenster wird geöffnet. Drücken Sie nun die Taste „Kraftwerk einschalten“ wenn sie das Kraftwerk einschalten möchten.
5. Eine Referenzierungsfahrt wird nun durchgeführt. Dazu öffnet sich die Düse auf etwa 90% (Bis der Referenzierungsschalter betätigt wird).
6. Das weitere Vorgehen, um die Anlage in Betrieb zu nehmen, ist im Kapitel Inbetriebnahme beschrieben.

Wenn die Taste „Referenzieren“ gedrückt wird, so beginnt der Stellmotor sofort zu drehen. Niemals die Hände in die Nähe des Stellmotors, den Zahnriemen oder die Spindel halten, besonders dann nicht, wenn der Stellmotor sich dreht.

Sollten einmal Probleme mit der Positionierung der Düse auftreten, so empfiehlt sich, eine neue Referenzierungsfahrt durchzuführen. Evtl. kann das Problem dadurch beseitigt werden. Kontrollieren Sie auch, ob der Zahnriemen genügend gespannt ist.

Nach der Referenzierung fährt der Stellmotor automatisch die zuletzt eingestellte Position an. Wenn Sie diese Position ändern möchten, gehen Sie bitte gemäss Kapitel „Einstellen der Düdenöffnung“ vor.

5 Einstellen der Düsenöffnung

Die Düsenöffnung kann auch verstellt werden, wenn die Anlage nicht in Betrieb ist. Dazu muss aber die Regelung deaktiviert sein, da bei aktivierter Regelung automatisch die richtige Düsenstellung angefahren wird.

1. Wenn auf dem Touchscreen die Startseite angezeigt wird, drücken sie die Taste „Bedienung“ um auf die Seite „Bedienung [Seite 1]“ zu gelangen.
2. Drücken Sie auf das Eingabefeld Düsenöffnung:

.
3. Es öffnet sich nun eine Bildschirm-Tastatur. Mit Hilfe dieser Tastatur können Sie die gewünschte Düsenöffnung in Prozent (0…100) eingeben.
4. Bestätigen Sie Ihre Eingabe durch Drücken auf „Enter“.
5. Wenn sich der eingegebene Wert vom vorherigen Wert unterscheidet, so bewegt der Stellmotor nun die Nadel an die gewählte Position.

Wenn ein neuer Wert für die Düsenöffnung eingegeben wird, so beginnt der Stellmotor zu drehen. Niemals die Hände in die Nähe des Stellmotors, den Zahnriemen oder die Spindel halten, besonders dann nicht, wenn der Stellmotor sich dreht.

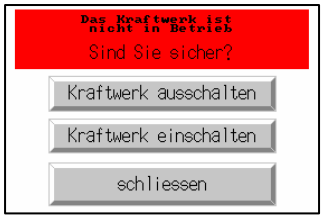
Wenn das Eingabefeld „Düsenöffnung“ nicht sichtbar ist, so müssen sie wahrscheinlich die Regelung deaktivieren. Das vorgehen dazu finden sie im Kapitel „Aktivieren und Deaktivieren der Regelung“.

Wenn der Motor nicht die richtige Position anfährt, so ist er möglicherweise nicht richtig referenziert. Starten Sie in diesem Fall eine neue Referenzierung gemäss Kapitel „Referenzierung des Stellmotors“.

6 Inbetriebnahme der Anlage

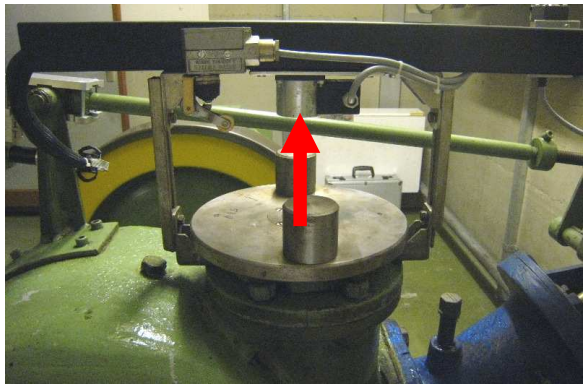
Wenn keine Fehler anliegen, kann die Anlage folgendermassen in Betrieb genommen werden:

1. Auf dem Touchscreen wird die Startseite angezeigt.
2. Drücken sie die Taste „Bedienung“ um auf die Seite „Bedienung [Seite 1]“ zu gelangen.
3. Drücken sie die Taste „Kraftwerk ein- / ausschalten“
4. Ein neues Fenster wird geöffnet. Drücken Sie nun die Taste „Kraftwerk einschalten“ wenn sie das Kraftwerk einschalten möchten.



5. Eine Referenzierungsfahrt wird nun durchgeführt, wenn der Stellantrieb noch nicht referenziert ist. Dazu öffnet sich die Düse auf etwa 90% (Bis der Referenzierungsschalter betätigt wird). Gleichzeitig öffnet sich ein neues Fenster welches besagt, dass Sie den Strahlablenker anheben müssen.

6. Heben Sie nun den Strahlablenker bis zum Elektromagneten hoch, so dass er oben bleibt. Dazu müssen sie nicht warten bis die Referenzfahrt fertig ist.
7. Die Drehzahl der Maschinenwelle fährt nun schnell hoch.
8. Wenn die minimal nötige Drehzahl erreicht ist, wird der Generator automatisch ans Netz geschaltet und die Kompensations-Kondensatoren dazugeschaltet.



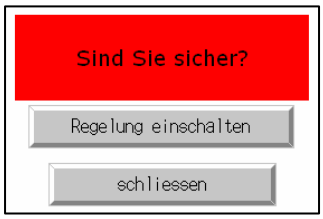
Nachdem der Strahlablenker angehoben wurde, beginnt die Maschinenwelle und damit auch das Schwungrad sofort zu drehen. Niemals irgendwelche Körperteile oder Gegenstände in die Nähe dieser rotierenden Teile halten. Es besteht sehr grosse Verletzungsgefahr.

Wenn die Anlage nicht in Betrieb ist oder durch irgendeinen Effekt ausgeschaltet wurde, so wird dies auf der Startseite angezeigt: Kraftwerk nicht in Betrieb

7 Aktivieren und Deaktivieren der Regelung

Die Regelung kann vor oder nach der Inbetriebnahme der Anlage ein- oder ausgeschaltet werden. Es handelt sich um eine Pegelstandsregelung, welche dafür sorgt, dass der Wasserpegel im Entsander immer gleich hoch ist, bzw. dafür sorgt, dass die Druckleitung immer gefüllt bleibt.

1. Wenn auf dem Touchscreen die Startseite angezeigt wird, drücken Sie die Taste „Bedienung“ um auf die Seite „Bedienung [Seite 1]“ zu gelangen
2. Drücken Sie nun die Taste „Regelung ein- / ausschalten“
3. Ein neues Fenster wird geöffnet. Drücken Sie die Taste „Regelung einschalten“ wenn sie die Regelung aktivieren wollen, bzw. „Regelung ausschalten“ wenn Sie die Regelung deaktivieren wollen.
4. Schliessen Sie das Fenster durch Drücken auf „Schliessen“
5. Die Regelung ist nun aktiviert bzw. deaktiviert.



Wenn die Regelung aktiviert ist, kann der Stellmotor automatisch und ohne Vorwarnung zu drehen beginnen. Niemals die Hände in die Nähe des Stellmotors, den Zahnriemen oder die Spindel halten, besonders dann nicht wenn der Stellmotor sich dreht.

Wenn die in den Entsander zufliessende Wassermenge so klein ist, dass sie nicht mehr für mindestens 4 kW Abgabeleistung genügt, so schaltet die Anlage automatisch ab.

Wenn bei aktivierter Regelung so wenig Wasser in den Entsander fliesst, dass die Anlage im Teillastbetrieb arbeiten muss, wird dies über die gelbe Signallampe „Wassermangel“ ausserhalb des Maschinenhauses angezeigt.
So hat man noch genügend Zeit den Wasserzulauf zu reinigen, bevor das Kraftwerk wegen Wassermangel abschaltet.

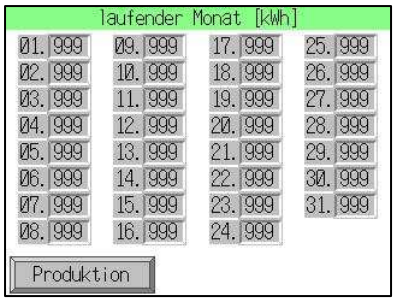
8 Ablesen der Produzierten Energie

Die gesamte vom Kraftwerk produzierte Wirkenergie wird von der SPS aufgezeichnet und gespeichert. Eine Aufzeichnung für einen einzelnen Tag wird für 3 Monate gesichert. Danach werden immer die jeweils ältesten Daten verworfen.
Die Speicherung für einen einzelnen Monat wird für 3 Jahre gesichert. Danach werden die Daten für das jeweils älteste Jahr verworfen und können nicht mehr abgelesen werden.

Die Daten können folgendermassen abgerufen werden:

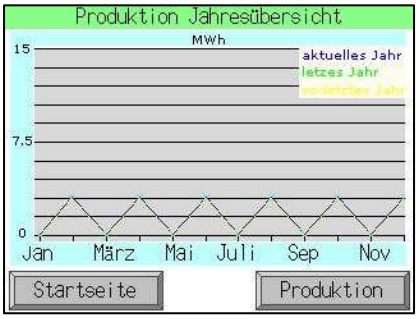
1. Wenn auf dem Touchscreen die Startseite angezeigt wird, drücken Sie die Taste „Produktion“ um auf die Seite „Produktion“ zu gelangen.
2. Es wird nun eine Zusammenfassung der wichtigsten Aufzeichnungen angezeigt.

3. Wenn Sie eine Auflistung der Aufzeichnungen für jeden einzelnen Tag sehen möchten, so drücken die die Taste „Tagesauflistung“. Ansonsten gehen Sie bitte zu Schritt 7.
4. Nun können Sie den Monat wählen von dem Sie die Daten gerne hätten.
5. Es wird ein Fenster geöffnet, in welchem Sie für jeden einzelnen Tag im gewählten Monat die Produktionsmenge ablesen können.
6. Durch drücken auf die Taste „Produktion“ gelangt man zurück zum Bildschirm „Produktion“.



7. Wenn Sie eine Auflistung der Produktion für einzelne Monate sehen möchten, so drücken Sie die Taste Monatsauflistung, ansonsten gehen Sie bitte zu Schritt 11.
8. Nun können Sie das Jahr wählen von dem Sie die Daten möchten.
9. Es wird ein Fenster geöffnet, in welchem Sie für jeden einzelnen Monat im gewählten Jahr die Produktionsmenge ablesen können.
10. Durch drücken auf die Taste „Produktion“ gelangt man zurück zum Bildschirm „Produktion“.

11. Durch drücken der Taste „Jahresverlauf“ gelangt man zu einer grafischen Übersicht, welche aufzeigt, wie die letzten drei Jahre verlaufen sind.



Die Tagesauflistung wird nur für drei Monate gespeichert, danach wird immer der jeweils älteste Monat gelöscht. Die Monatsauflistung wird für drei Jahre gespeichert, danach wird immer das jeweils älteste Jahr gelöscht.
Werden die Daten länger benötigt, sollten Sie unbedingt vorher abgeschrieben oder rauskopiert werden.

9 Anzeigen von Anlagenparameter

Die wichtigsten Anlagenparameter können vom Multifunktions-Anzeigegerät, welches im Schaltschrank eingebaut ist, abgelesen werden. Es handelt sich um einen 3-Phasen Leistungs-Analysator. Das Gerät hat sehr viele Funktionen und wird hier deshalb nicht detailliert beschrieben. Wenn weitere Funktionen benötigt werden, die hier nicht beschrieben sind, so lesen Sie bitte die Bedienungsanleitung dieses Geräts. Sie befindet sich bei den übrigen Anlagendokumenten.

Das Gerät hat auf der linken Seite einen Wahlschalter (roter Pfeil). Auf die Positionen des Wahlschalters können beliebige Anzeigen zugeordnet werden. Im Moment sind folgende Anzeigen zugeordnet:

Position 1:	Leistung L1, L2, L3
Position 2:	Verkettete Spannungen
Position 3	Phasenströme L1, L2, L3

Das Gerät weist sehr viele Funktionen auf. Wenn Sie weitere Funktionen benötigen oder die Geräteeinstellungen ändern möchten, so lesen Sie bitte die Bedienungsanleitung dieses Geräts.

10 Ändern der Anlageneinstellungen

Von der Anlage können diverse Parameter, welche für ein korrektes Funktionieren benötigt werden, verstellt werden.

Ohne genügend Kenntnis über die Anlage, dürfen diese Parameter nicht verstellt werden. Ein Verstellen der Parameter kann zu Fehlverhalten der Anlage führen.

Wenn auf dem Touchscreen die Startseite angezeigt wird, die Taste „Einstellungen“ drücken, um auf die Seite „Einstellungen [Seite 1]“ zu gelangen. Mit der Taste „>>>“ gelangt man zur Seite „Einstellungen [Seite 2]“

10.1 Einstellbare Parameter

Soll-Höhe: Gibt an auf welche Höhe der Regler ausregeln soll. Von Vorteil gibt man hier die Höhe zum Entsander an, damit die Druckleitung immer gefüllt bleibt.

Hysterese: Gibt an, ab welcher Regeldifferenz der Regler zu arbeiten beginnt. (Totzone)

T Kompensation: Verzögerungszeit, mit welcher der Kompensationsschütz die Kompensationskondensatoren dazuschalten soll.

T Regelaktivität: Abtastzeit für den Regler. Gibt an, wie oft die Ist-Höhe mit der Soll-Höhe verglichen wird.

Kp Regler: Proportionalitätsfaktor für den P-Regler

Ausschaltpos.: Gibt an, an welche Position der Stellmotor fahren soll, wenn die Anlage von Hand ausgeschaltet wird.

Min. Regelöffnung: Minimale Öffnung die die Düse noch haben muss bei aktivierter Regelung.

10.2 Fehler unterdrücken

Mit den beiden Tasten „Fehler EPOS unterdrücken“ und „übrige Fehler unterdrücken“ wird erreicht, dass ausserhalb des Maschinenraumes keine Fehler mehr mit den Signallampen angezeigt werden. Die Fehler können deshalb aber trotzdem noch auftreten und der sichere Betrieb ist ebenfalls gewährleistet.

Auf der Startseite wird eine Warnmeldung angezeigt wenn die Fehleranzeige deaktiviert ist:

11 Datum und Uhrzeit des Touchscreens einstellen

Damit die Datenaufzeichnung und die Fehlerauflistung richtig funktionieren ist es wichtig, dass Datum und Uhrzeit richtig eingestellt sind. Um diese richtig einzustellen muss folgendermassen vorgegangen werden.

11.1 Datum und Uhrzeit des Touchscreen einstellen

Um das Datum und die Uhrzeit des Touchscreens zu verändern muss folgendermassen vorgegangen werden:

1. Wenn auf dem Touchscreen die Startseite angezeigt wird, drücken sie die Taste „Einstellungen“ um auf die Seite „Einstellungen [Seite 1]“ zu gelangen
2. Drücken Sie die Taste „>>>“um auf die Seite „Einstellungen [Seite 2]“ zu gelangen und anschliessend die Taste „Datum/Zeit TS“
3. Sie gelangen nun auf die Seite „Datum und Uhrzeit Touchscreen“
4. Drücken Sie auf das Eingabefeld „Datum“ wenn Sie das Datum ändern möchten, bzw. auf das Eingabefeld „Zeit“, wenn sie die Uhrzeit ändern wollen.
5. Es erscheint nun eine Bildschirmtastatur mit welcher Sie die entsprechenden Daten eingeben können.
6. Mit drücken auf „Enter“ können Sie die eingegebenen Werte speichern

Das Datum und die Uhrzeit wird dadurch nur auf dem Touchscreen geändert. Das Datum und die Uhrzeit auf der SPS ändern sich dadurch nicht.

11.2 Datum und Uhrzeit der SPS einstellen

Auf dem Touchscreen kann das Datum und die Uhreit der SPS eingestellt werden. Dazu muss folgendermassen vorgegangen werden:

1. Wenn auf dem Touchscreen die Startseite angezeigt wird, drücken sie die Taste „Einstellungen“ um auf die Seite „Einstellungen [Seite 1]“ zu gelangen
2. Drücken Sie die Taste „>>>“um auf die Seite „Einstellungen [Seite 2]“ zu gelangen, und anschliessend die Taste „Datum/Zeit SPS“
3. Sie gelangen nun auf die Seite „Datum und Zeit der SPS“
4. In den Anzeigefelder „Datum“ und „Zeit“ kann abgelesen werden, welches Datum und welche Uhrzeit in der SPS eingestellt sind.
5. Durch drücken auf eines der Eingabefelder Tag, Stunde, Monat usw. öffnet sich eine Bildschirmtastatur. Mit dieser kann der entsprechende Wert eingegeben werden den man möchte. Durch drücken auf „Enter“ wird der Wert übernommen.
6. Wenn alle Werte eingegeben wurden, können Sie mit „Speichern“ in die SPS geschrieben werden

Es müssen immer alle Werte angepasst werden, da beim drücken auf „Speichern“ gleich alle Werte in die SPS geschrieben werden.

Das Datum und die Uhrzeit wird dadurch nur auf der SPS geändert. Das Datum und die Uhrzeit auf dem Bildschirm ändern sich dadurch nicht.

12 Pflege und Wartung

12.1 Mechanik

> Es ist immer darauf zu achten, dass die Lager der Welle genügend geschmiert sind. Dazu sind an den Lager Schmiernippel vorgesehen.

> Die Gewindestange welche vom Stellmotor angetrieben wird, muss ebenfalls von Zeit zu Zeit wieder geölt werden. Ansonsten kann es sein, dass der Stellmotor zuwenig Kraft aufbringen kann, um die Düse zu verstellen.

> Einmal pro Jahr ist der gesamte Entsander zu entleeren und den abgelagerten Schmutz zu entfernen.

> Zudem ist regelmässig die gesamte Installation zu überprüfen und allfällige Mängel oder Defekte sofort von einem Fachmann beheben zu lassen.

Wenn Mängel oder Defekte gefunden werden, darf die Anlage nicht wieder in Betrieb genommen werden, bis die Anlage wieder in einwandfreiem Zustand ist.

12.2 Elektrische Installationen

> Der Schaltschrank ist regelmässig von Schmutz und anderen Gegenständen zu befreien.

Um den Schaltschrank zu reinigen ist die Gesamte Anlage vom Netz zu trennen. Schalten die dazu den Anlagenhauptschalter aus.

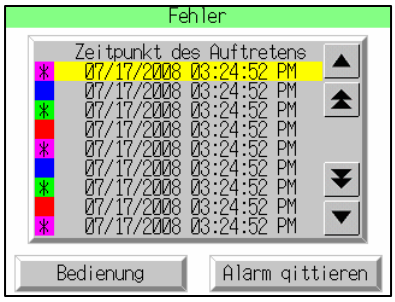
> Die Not-Aus Funktion der Anlage ist mindestens einmal pro Jahr zu überprüfen.

> Defekte Anlageteile sind sofort von einem Fachmann ersetzen zu lassen. Bei Fehlfunktionen irgendwelcher Art, ist die Anlage sofort vom Netz zu trennen. Die Anlage darf dann nicht mehr in Betrieb genommen werden, bis ein sicherer Betrieb gewährleistet werden kann.

13 Fehlermeldungen / Fehlerbehebungen

Alle Fehlermeldungen die auftreten, werden in einer Fehlertabelle mit Uhrzeit und Datum gespeichert. Um die aufgetretenen Fehler anzusehen gehen Sie folgendermassen vor:

1. Wenn auf dem Touchscreen die Startseite angezeigt wird, drücken Sie die Taste „Bedienung“
2. Drücken Sie nun die Taste „>>>“ um auf die Seite „Bedienung [Seite 2]“ zu gelangen
3. Drücken Sie die Taste „Fehleraufzeichnung“ um die Fehlertabelle anzuzeigen
4. Um zu sehen um was für eine Art von Fehler es sich dabei jeweils handelte, drücken Sie auf die jeweilige Zeile.
5. Es öffnet sich nun ein kleines Fenster in welchem zu sehen ist um was für einen Fehler es sich handelte.



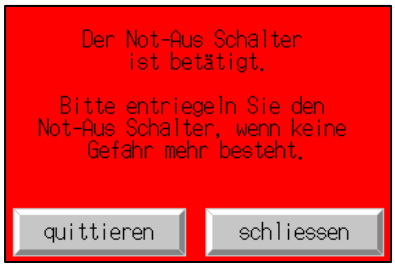
Wenn irgendein Fehler auftritt, so erscheint auf dem Touchscreen ein Fenster welches besagt, um was für einen Fehler es sich handelt. Bei allen Fehlermeldungsfenstern hat man die Möglichkeit den Fehler zu quittieren und das Fenster zu schliessen. Durch drücken auf „quittieren“ wird die Warnlampe ausserhalb des Maschinenraums abgeschaltet, nicht aber der Fehler zurückgesetzt.
Ein Fehler wird entweder durch ein erfolgreiches Wiedereinschalten zurückgesetzt oder durch Drücken der Taste „Fehler Reset“ auf der Seite „Bedienung [Seite 2]“.

Falls ein Fehler mit den hier beschriebenen Methoden nicht behoben werden kann oder irgendwelche Zweifel an der richtigen Funktion der Anlage besteht, ist in jedem Fall ein Fachmann herbei zu holen.

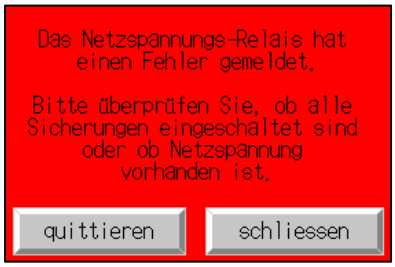
Im Allgemeinen können folgende Fehler auftreten:

13.1 Not-Aus betätigt

Zu dieser Meldung kommt es, wenn der Not-Aus Schalter betätigt wurde.
Wenn keine Gefahr mehr besteht kann der Not-Aus Schalter durch herausziehen entriegelt werden.
Danach kann die Anlage wieder normal in Betrieb genommen werden.

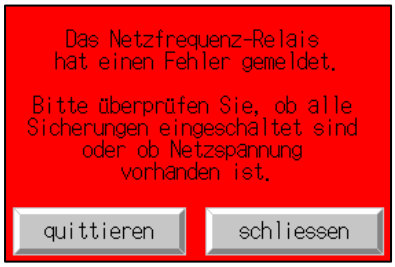


13.2 Netzspannungsfehler


Das Netzspannungs-Relais hat einen Fehler gemeldet.
Bitte überprüfen Sie, ob alle Sicherungen eingeschaltet sind oder ob Netzspannung vorhanden ist.
quittieren
schliessen

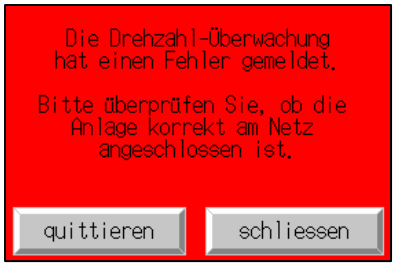
Dieser Fehler tritt auf, wenn keine richtige Spannungsversorgung an der Anlage anliegt, bzw. wenn die Anlage nicht richtig am Netz ist.
Es kann sein, dass an einem einzelnen oder mehreren Polleiter keine oder unzureichend Spannung anliegt, oder dass Die Drehrichtung des Drehfeldes falsch ist.
Überprüfen Sie in diesem Fall, ob alle Sicherungen in Ordnung sind oder der Fehler möglicherweise vom Netzbetreiber verursacht wird.

13.3 Netzfrequenzfehler


Das Netzfrequenz-Relais hat einen Fehler gemeldet.
Bitte überprüfen Sie, ob alle Sicherungen eingeschaltet sind oder ob Netzspannung vorhanden ist.
quittieren
schliessen

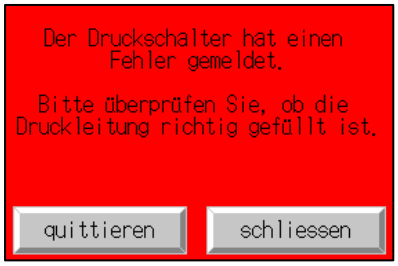
Dieser Fehler signalisiert einen Fehler der Netzfrequenz. Da die gesamte Anlage parallel zum Netz betrieben wird, kann es sich hierbei fast nur um einen Fehler vom Netzbetreiber handeln.
Warten Sie deshalb, bis der Fehler behoben ist und versuchen Sie dann die Anlage neu zu starten.

13.4 Drehzahlfehler


Die Drehzahl-Überwachung hat einen Fehler gemeldet.
Bitte überprüfen Sie, ob die Anlage korrekt am Netz angeschlossen ist.
quittieren
schliessen

Dieser Fehler besagt, dass die Drehzahl der Turbine bzw. des Generators höher oder tiefer war als zulässig.
Dazu kann es kommen, wenn der Generator nicht richtig am Netz angeschlossen ist oder gar durch etwas blockiert wird.
Überprüfen Sie auf jeden Fall gründlich die Anlage, bevor Sie einen Neustart versuchen.

13.5 Fehler Druckschalter

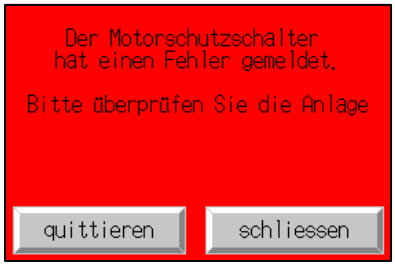

Der Druckschalter hat einen Fehler gemeldet.
Bitte überprüfen Sie, ob die Druckleitung richtig gefüllt ist.
quittieren
schliessen

Wenn dieser Fehler auftritt, so bedeutet dies, dass sich in folge von Wassermangel die Druckleitung geleert hat. Dadurch ist der Druck in der Druckleitung zu weit abgesunken.
Reinigen Sie den Wasserzufluss und den Einlaufrechen, dass sich die Druckleitung wieder auffüllt. Versuchen Sie danach die Anlage normal in Betrieb zu nehmen.

Ein Abschalten des Kraftwerks kann unter Umständen durch Aktivierung der Pegelstandsregelung verhindert oder verzögert werden, da genug früh gewarnt wird, dass zu wenig Wasser in den Entsander fliesst.

13.6 Fehler Motorschutzschalter

Dieser Fehler zeigt einen zu hohen Generatorstrom bzw. eine thermische Überlast an.
Wenn dieser Fehler auftritt, lassen Sie die Anlage auf jeden Fall von einem Fachmann überprüfen.



13.7 Fehler Generatorschütz

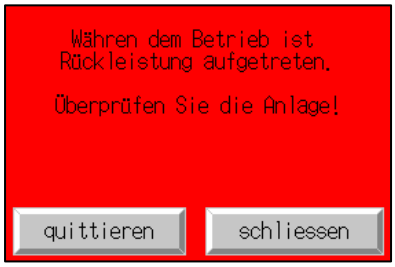
Zu diesem Fehler kommt es, wenn der Generatorschütz nicht in der vorgegebenen Zeit die Anlage ans Netz geschaltet hat.
Trennen Sie in diesem Fall die Anlage mit dem Hauptschalter vom Netz und überprüfen Sie den Generatorschütz. Er ist möglicherweise blockiert oder defekt.

13.8 Fehler Kondensatorschütz

Zu diesem Fehler kommt es, wenn der Kondensatorschütz nicht in der vorgegebenen Zeit die Kondensatoren dazuschaltet.
Trennen Sie in diesem Fall die Anlage mit dem Hauptschalter vom Netz und überprüfen Sie den Kompensationsschütz. Er ist möglicherweise blockiert oder defekt.

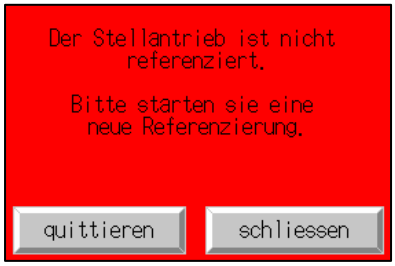
13.9 Fehler Rückleistung

Dieser Fehler tritt auf, wenn der Generator im Motorbetrieb gearbeitet hat und somit elektrische Energie verbraucht hat, anstatt zu produzieren.
Dazu kann es kommen, wenn zu wenig Wasser in der Druckleitung ist, aber die Drehzahl immer noch so Hoch ist, so dass die Drehzahlüberwachung nicht auslöst. Unter Umständen kann auch die Düse verstopft sein.



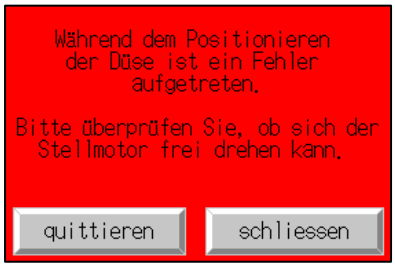
13.10 Referenzierungsfehler

Ein solcher Fehler tritt auf, wenn der Stellantrieb nicht richtig referenziert ist. Dazu kann es kommen, wenn die EPOS P eine Zeit lang keine Spannungsversorgung mehr hat und dadurch Ihre aktuelle Position verliert.
Starten Sie in diesem Fall eine neue Referenzierung gemäss dem Kapitel „Referenzierung des Stellmotors“



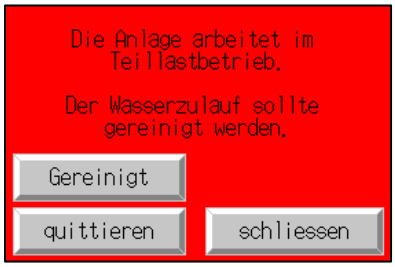
13.11 Positionierungsfehler

Dieser Fehler besagt, dass es während dem Verstellen der Düse zu einem Fehler kam. Dazu kann es kommen, wenn der Stellmotor sich nicht frei drehen kann.
Aufgrund dieses Fehlers wird die Anlage aber nicht ausgeschaltet, sondern läuft mit der aktuellen Düsenöffnung weiter.
Überprüfen Sie, ob der Stellmotor sich drehen kann oder ob er durch etwas blockiert wird.


Während dem Positionieren der Düse ist ein Fehler aufgetreten.
Bitte überprüfen Sie, ob sich der Stellmotor frei drehen kann.
quittieren
schliessen

13.12 Warnung Teillastbetrieb

Diese Warnmeldung tritt auf, wenn die Regelung eingeschaltet ist und die Anlage im Teillastbetrieb arbeitet. Es kann sein, dass der Wasserzulauf verstopft oder verschmutzt ist.
Reinigen Sie in diesem Fall den Wasserzulauf. Danach sollte sich die Düse wieder langsam öffnen.
Um ein sofortiges Öffnen zu bewirken, drücken Sie die Taste „Gereinigt“



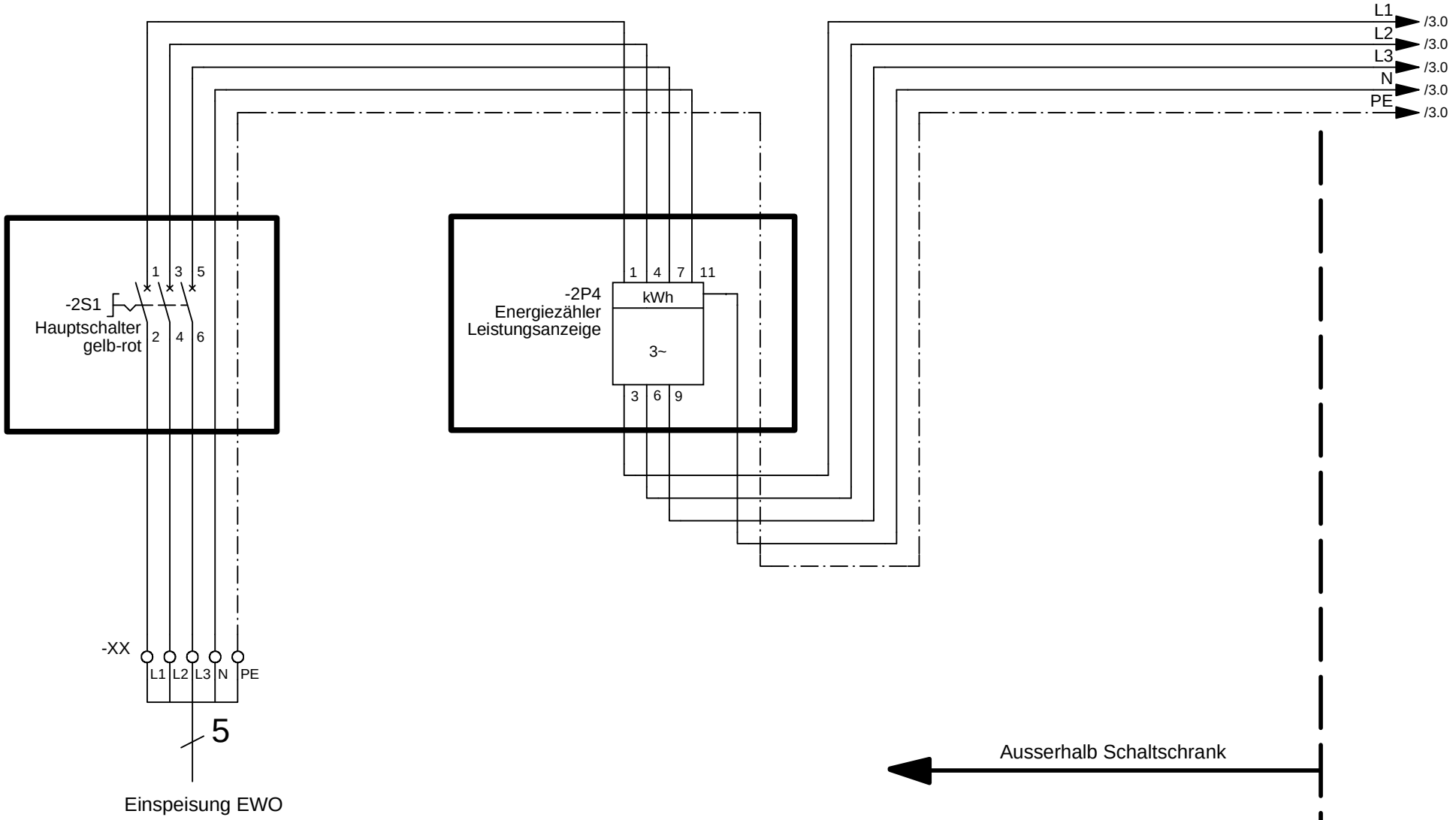
14 Technische Daten

Länge der Druckleitung:	986 m
Höhendifferenz (Bruttohöhe)	131 m
Statischer Druck bei voll geöffneter Düse:	11.52 bar
Typ des Generators:	Kurzschlussläufer Asynchron-Motor
Nennleistung des Generators:	30 kW
Nenndrehzahl des Generators:	960 U/min
Polpaarzahl:	3
Nenndrehzahl im Generatorbetrieb:	ca. 1’020 U/min
Typ der Turbine:	Pelton
Strahlkreisdurchmesser:	430 mm
Becherbreite:	85 mm
Strahldurchmesser:	ca. 26.8 mm
Brutto-Nennleistung der Anlage:	33’600 W
Hydraulische Nennleistung:	30’200 W
Mechanische Nennleistung:	22’500 W
Nennleistung Generator:	21’200 W
Blindleistung ohne Kompensation:	24’100 var
Scheinleistung ohne Kompensation:	32’100 VA
Blindleistung mit Kompensation:	14’100 var
Scheinleistung mit Kompensation:	25’500 VA
Kompensationsleistung kapazitiv	10'000 var
Nennspannung	3 x 400 VAC (3LNPE)
Nennstrom (Absicherung)	63 A
Leistungsfaktor ohne Kompensation:	0.66
Leistungsfaktor mit Kompensation:	0.83
Wirkungsgrad der Druckleitung:	90.0 %
Wirkungsgrad der Turbine:	74.5 %
Wirkungsgrad des Generators:	93.9 %
Gesamtwirkungsgrad der Anlage:	63.1 %
Durchschnittliche Energieproduktion:	174’000 kWh/Jahr
Vergütung durch EWO:	0.16 Fr/kWh

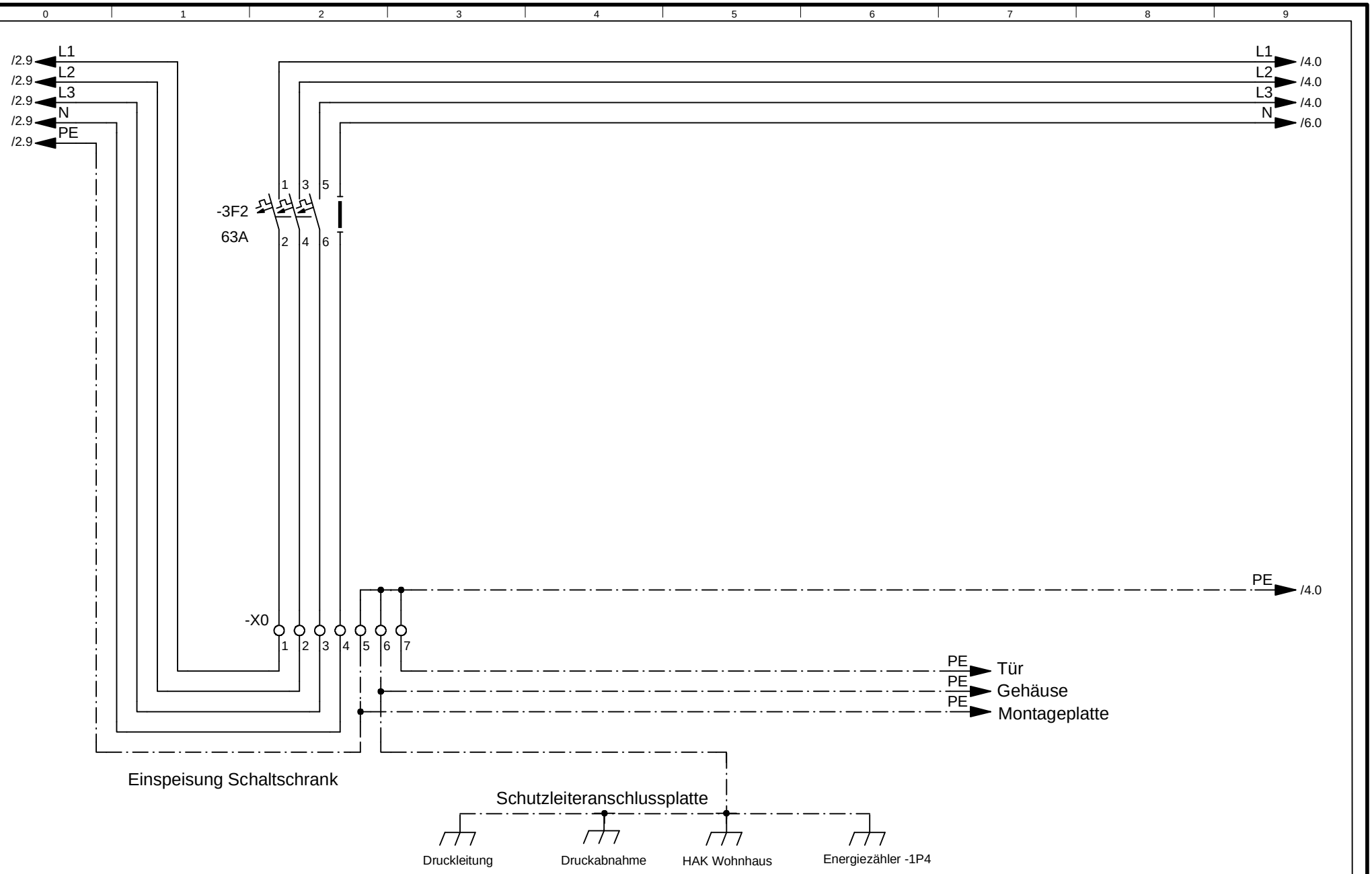
Projekt:	Kraftwerk
Kunde:	Gebr. Burch
Projekt-Titel:	Kleinwasserkraftwerk
Auftragsnummer:	BDA

Leiterfarbe

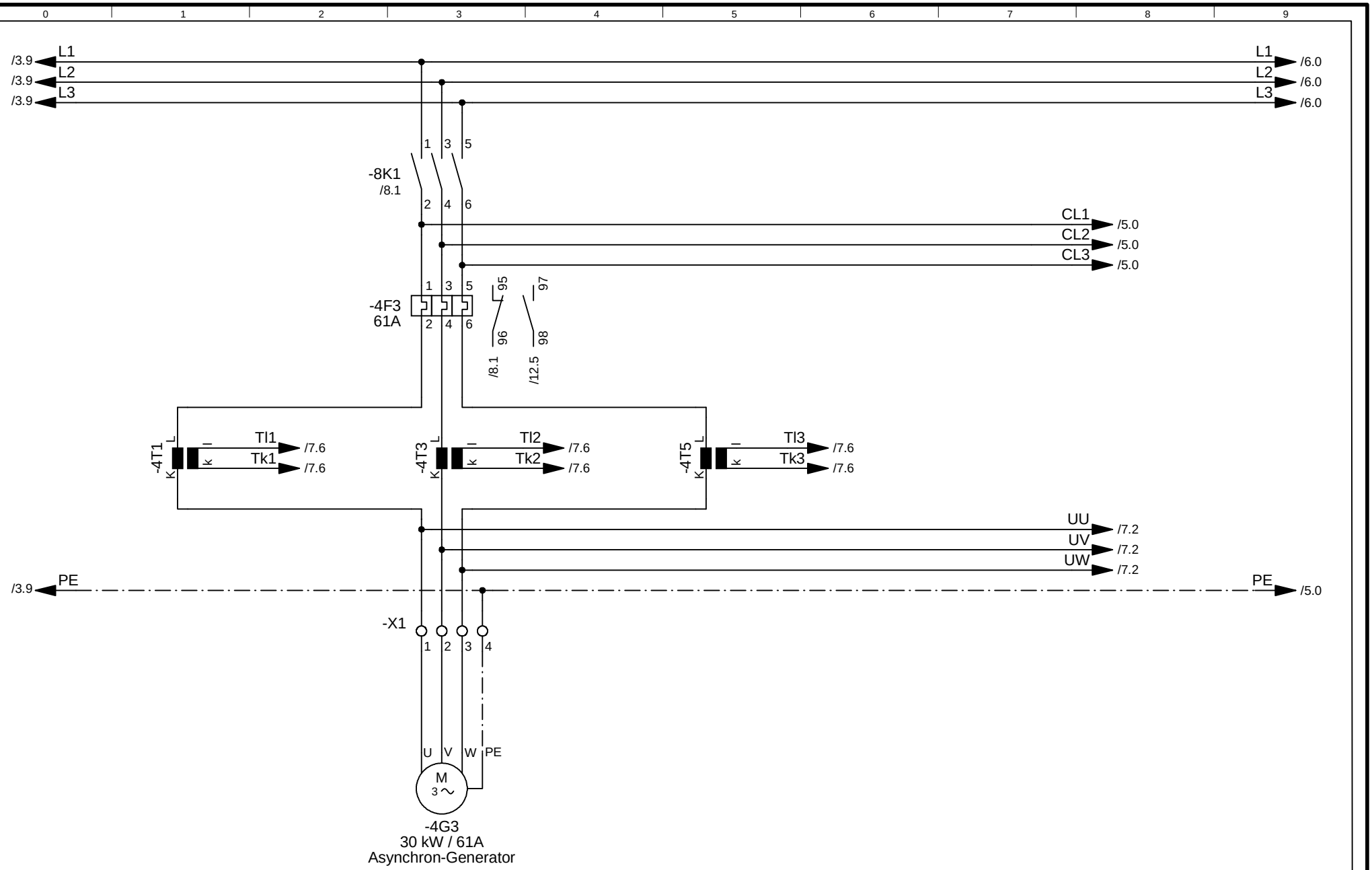
Leistung		**Steuerung**		**Stromwandler**	
schwarz	230/400 VAC	violett	+24 VDC	rot	5 A
hellblau	N	weiss	0 VDC	gelb-grün	PE
gelb-grün	PE	gelb-grün	PE		



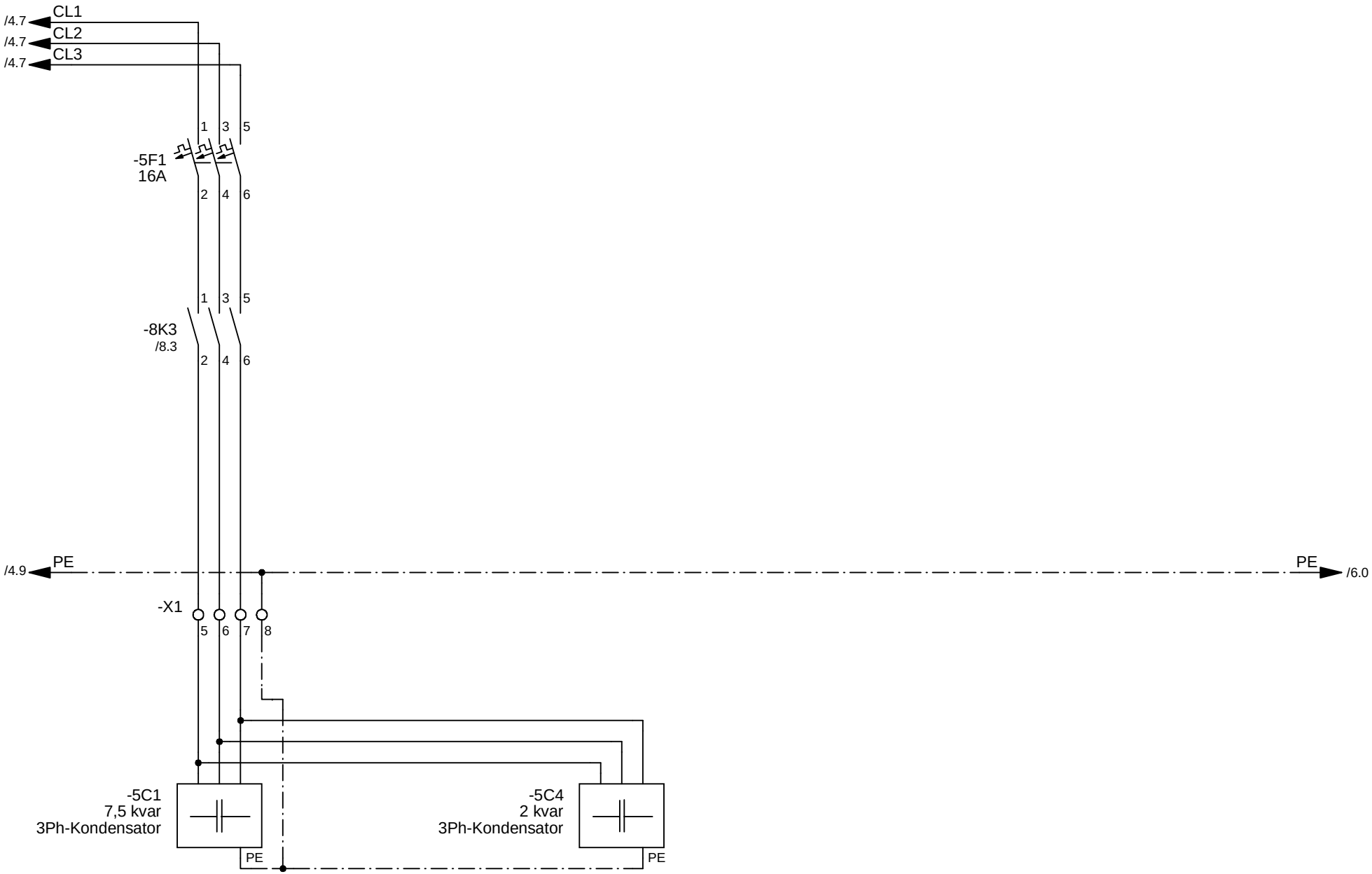
		24.07.2008	T. Burch	Datum	08.11.2007	Burch Maschinentechnik Sagenstrasse, CH-6062 Wilen	Projekt: Kraftwerk	Kleinwasserkraftwerk ANr. BDA Einspeisung EWO	Kunde: Gebr. Burch	Anlage WKW_Wilen
				Bearb.	T. Burch					Ort Maschinenhaus
				Gepr.						Blatt-Nr. 2
Zustand	Änderung	Datum	Name	Norm		Urspr. / Ers. für	Ers. durch			Bl von Anz 2/28



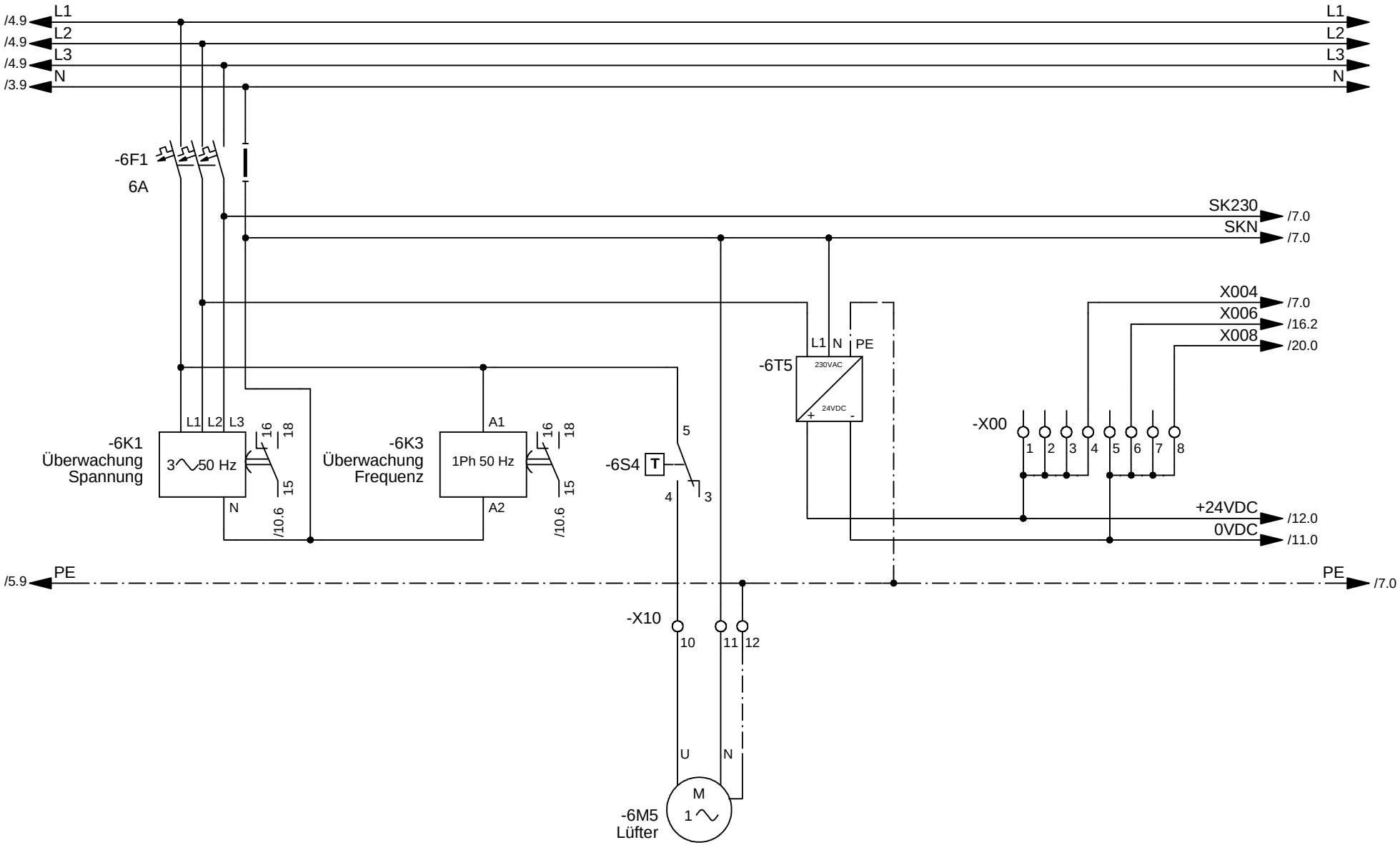
		03.07.2008	T. Burch	Datum	08.11.2007	Burch Maschinentechnik Sagenstrasse, CH-6062 Wilen	Projekt: Kraftwerk	Kleinwasserkraftwerk ANr. BDA Einspeisung Schaltschrank	Kunde: Gebr. Burch	Anlage WKW_Wilen	
				Bearb.	T. Burch					Ort Maschinenhaus	
				Gepr.						Blatt-Nr. 3	
Zustand	Änderung	Datum	Name	Norm		Urspr.	Ers. für	Ers. durch		Bl von Anz 3/28	



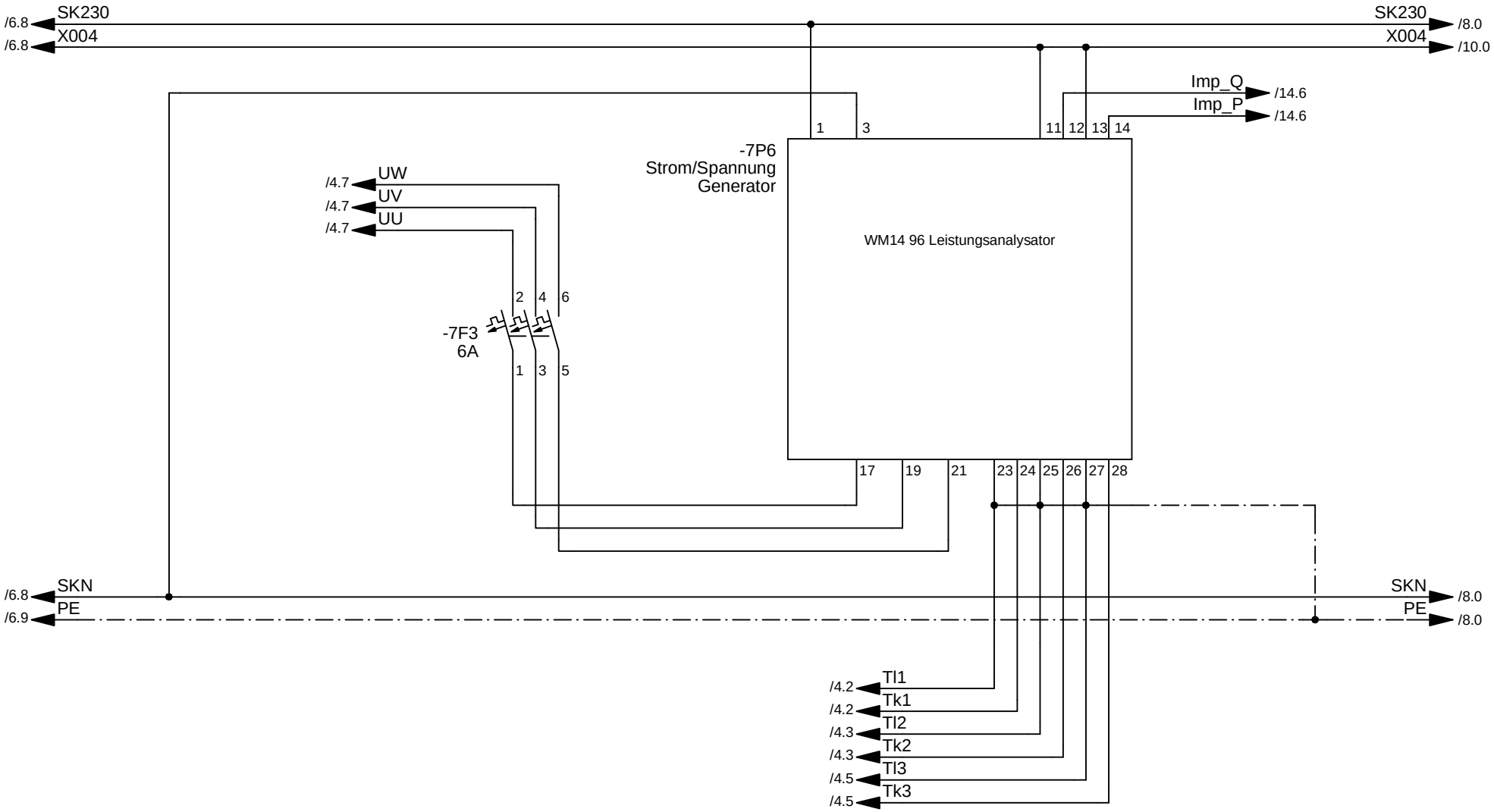
		03.07.2008	T. Burch	Datum	23.06.2008	Burch Maschinentechnik Sagenstrasse, CH-6062 Wilen	Projekt: Kraftwerk	Kleinwasserkraftwerk ANr. BDA Generator	Kunde: Gebr. Burch	Anlage WKW_Wilen
				Bearb.	T. Burch					Ort Maschinenhaus
				Gepr.						Blatt-Nr. 4
Zustand	Änderung	Datum	Name	Norm		Urspr. / Ers. für	Ers. durch			Bl von Anz 4/28



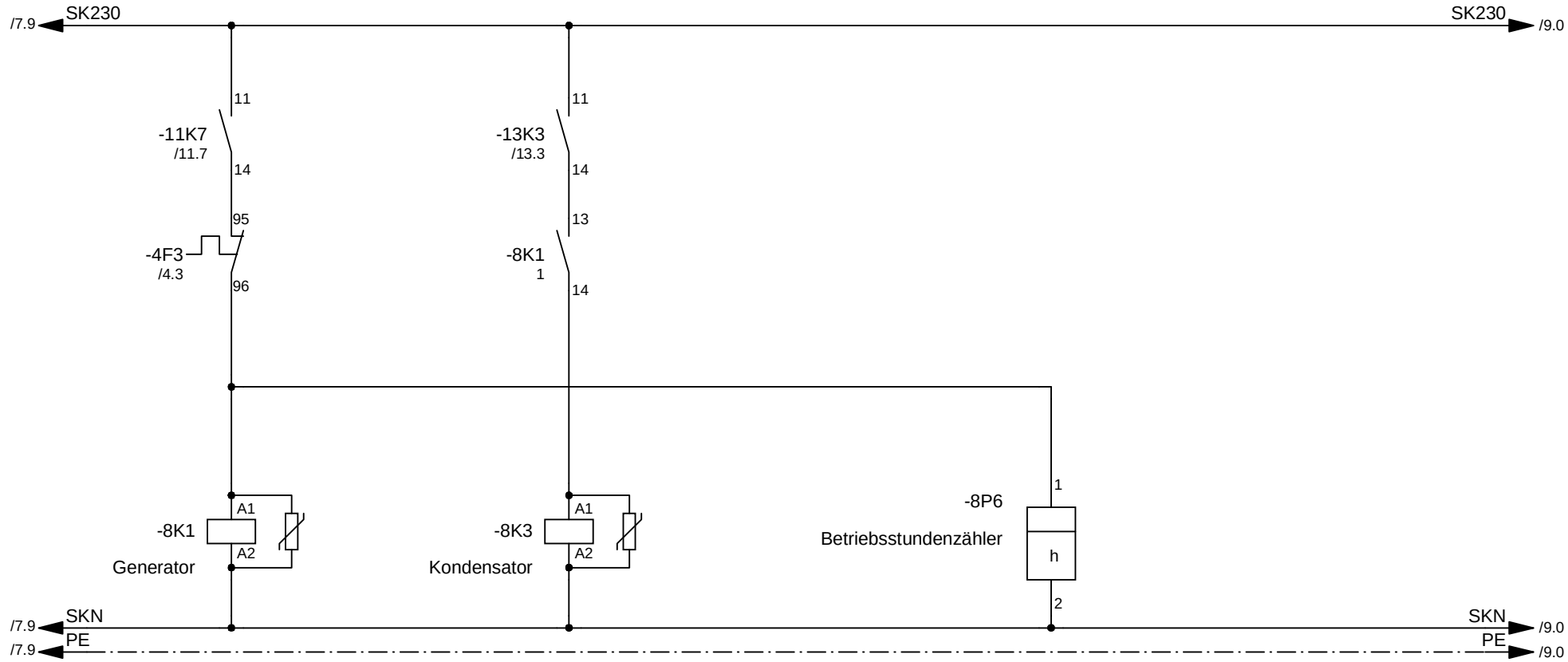
		03.07.2008	T. Burch	Datum	09.06.2008	Burch Maschinentechnik Sagenstrasse, CH-6062 Wilen	Projekt: Kraftwerk	Kleinwasserkraftwerk ANr. BDA Blindleistungs-Kompensation	Kunde: Gebr. Burch	Anlage WKW_Wilen
				Bearb.	T. Burch					Ort Maschinenhaus
				Gepr.						Blatt-Nr. 5
Zustand	Änderung	Datum	Name	Norm		Urspr. / Ers. für	Ers. durch			Bl von Anz 5/28



		24.07.2008	T. Burch	Datum	09.11.2007	Burch Maschinentechnik Sagenstrasse, CH-6062 Wilen	Projekt: Kraftwerk	Kleinwasserkraftwerk ANr. BDA Überwachung / Lüfter / Netzteil	Kunde: Gebr. Burch	Anlage WKW_Wilen
				Bearb.	T. Burch					Ort Maschinenhaus
				Gepr.						Blatt-Nr. 6
Zustand	Änderung	Datum	Name	Norm		Ursprung	Ers. für	Ers. durch		Bl von Anz 6/28



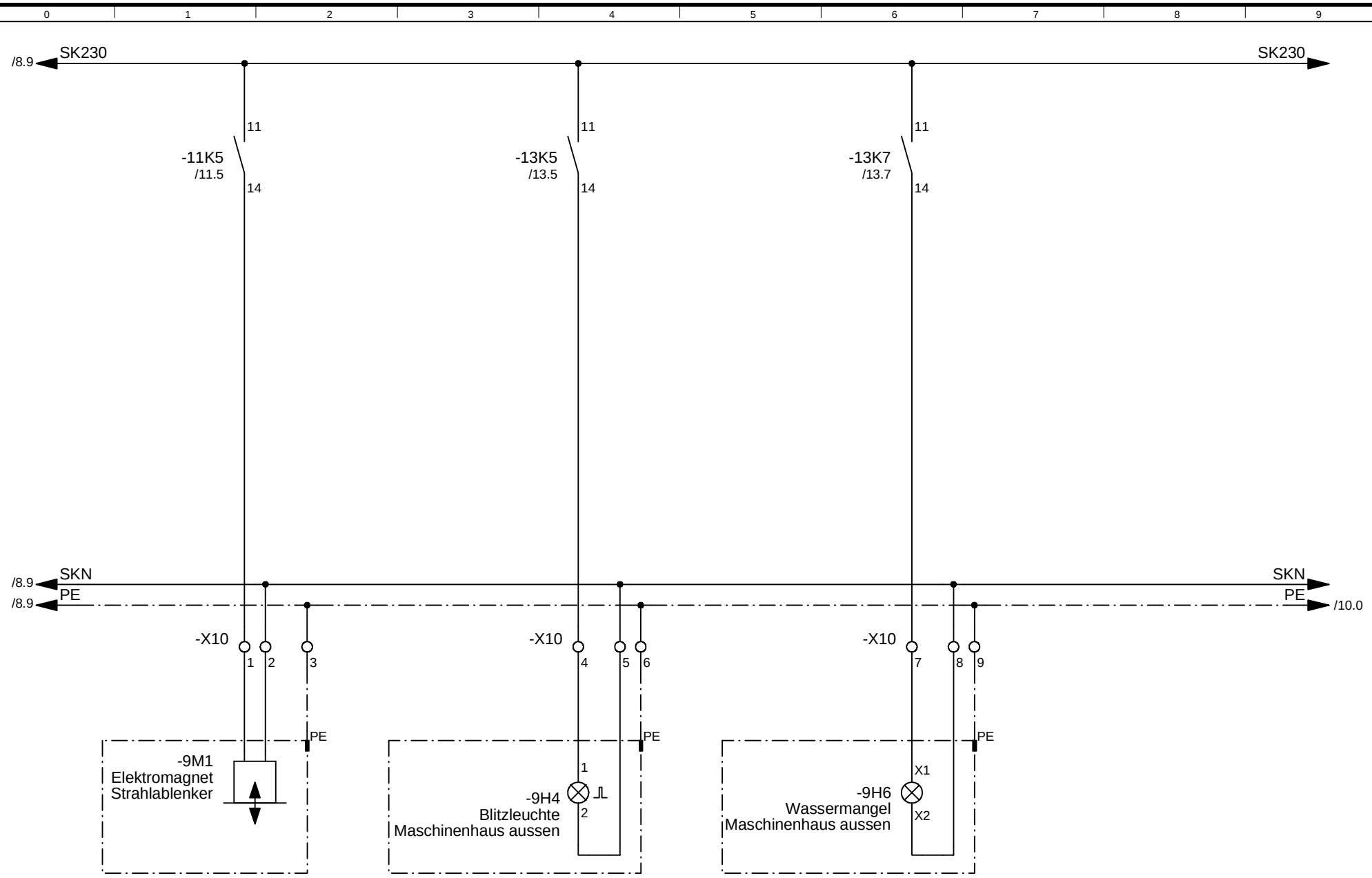
		14.07.2008	T. Burch	Datum	24.06.2008	Burch Maschinentechnik Sagenstrasse, CH-6062 Wilen	Projekt: Kraftwerk	Kleinwasserkraftwerk ANr. BDA Leistungsanalysator	Kunde: Gebr. Burch	Anlage WKW_Wilen
				Bearb.	T. Burch					Ort Maschinenhaus
				Gepr.						Blatt-Nr. 7
Zustand	Änderung	Datum	Name	Norm		Urspr. / Ers. für	Ers. durch			Bl von Anz 7/28



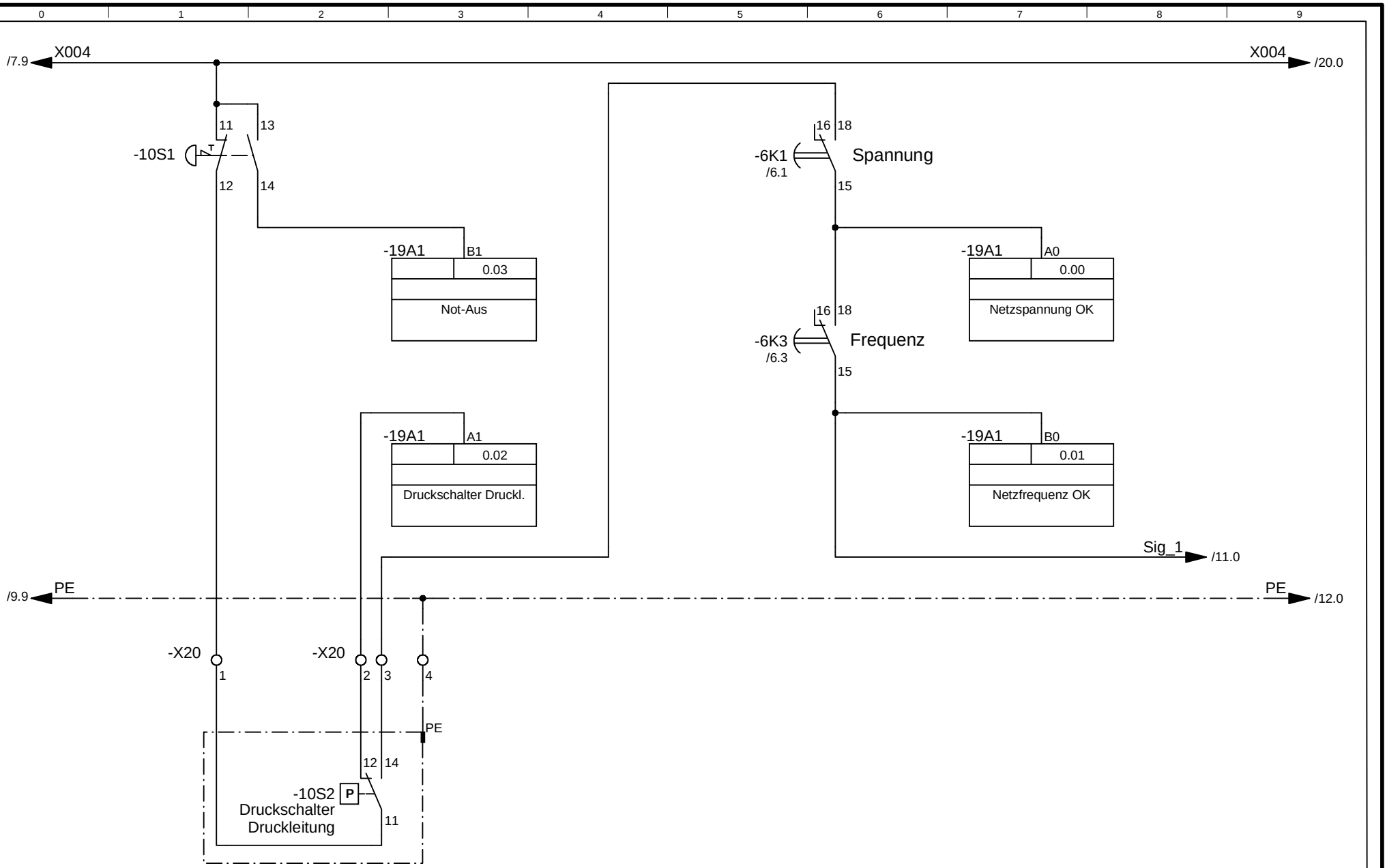
1 2 /4.3
3 4 /4.3
5 6 /4.3
13 14 /12.3
13 14 3

1 2 /5.1
3 4 /5.1
5 6 /5.1
13 14 /12.7

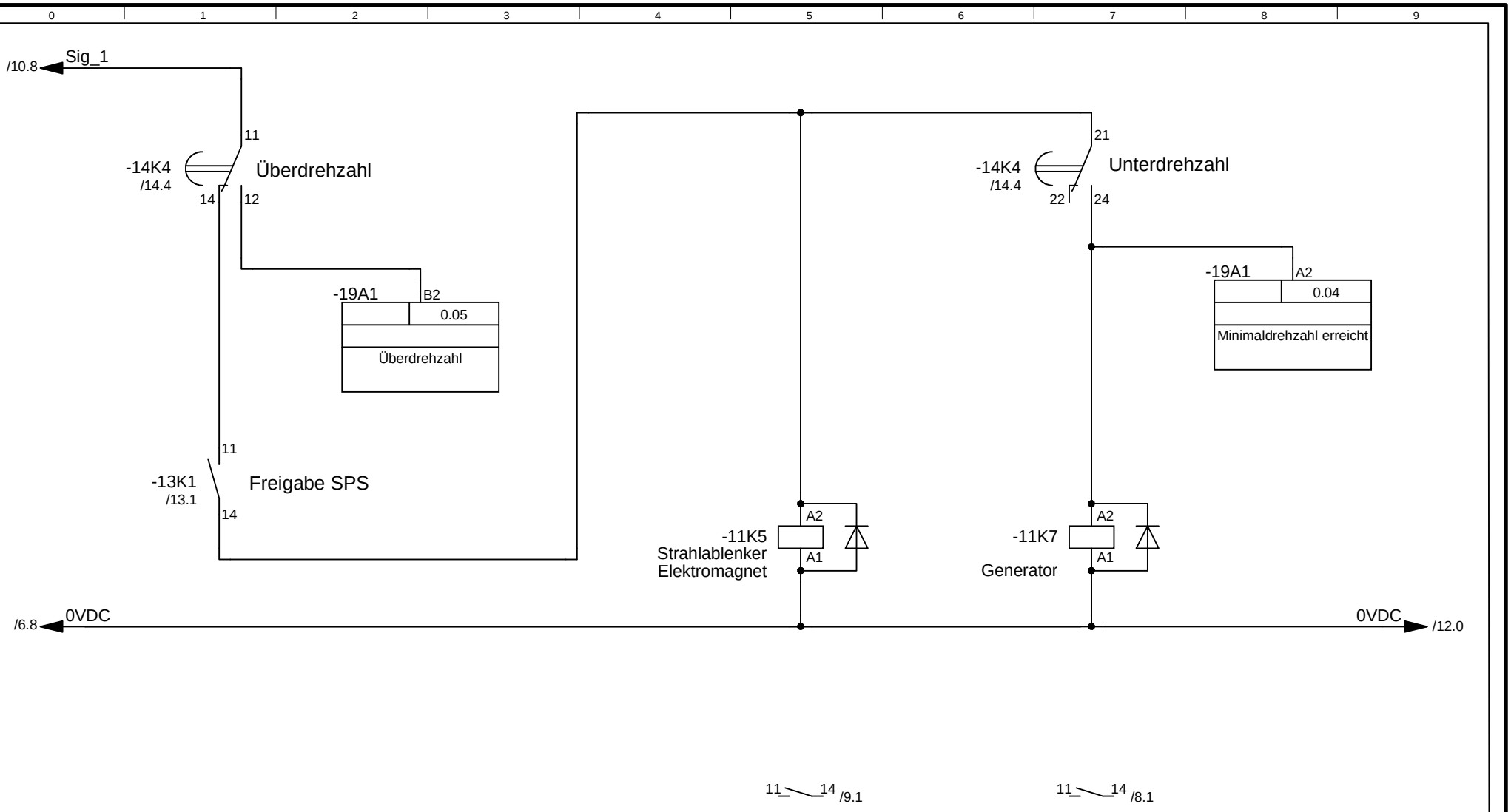
		24.07.2008	T. Burch	Datum	23.06.2008	Burch Maschinentechnik Sagenstrasse, CH-6062 Wilen	Projekt: Kraftwerk	Kleinwasserkraftwerk ANr. BDA Schütz / Betriebsstundenzähler	Kunde: Gebr. Burch	Anlage WKW_Wilen	
				Bearb.	T. Burch					Ort Maschinenhaus	
				Gepr.						Blatt-Nr. 8	
Zustand	Änderung	Datum	Name	Norm		Urspr. / Ers. für	Ers. durch			Bl von Anz 8/28	



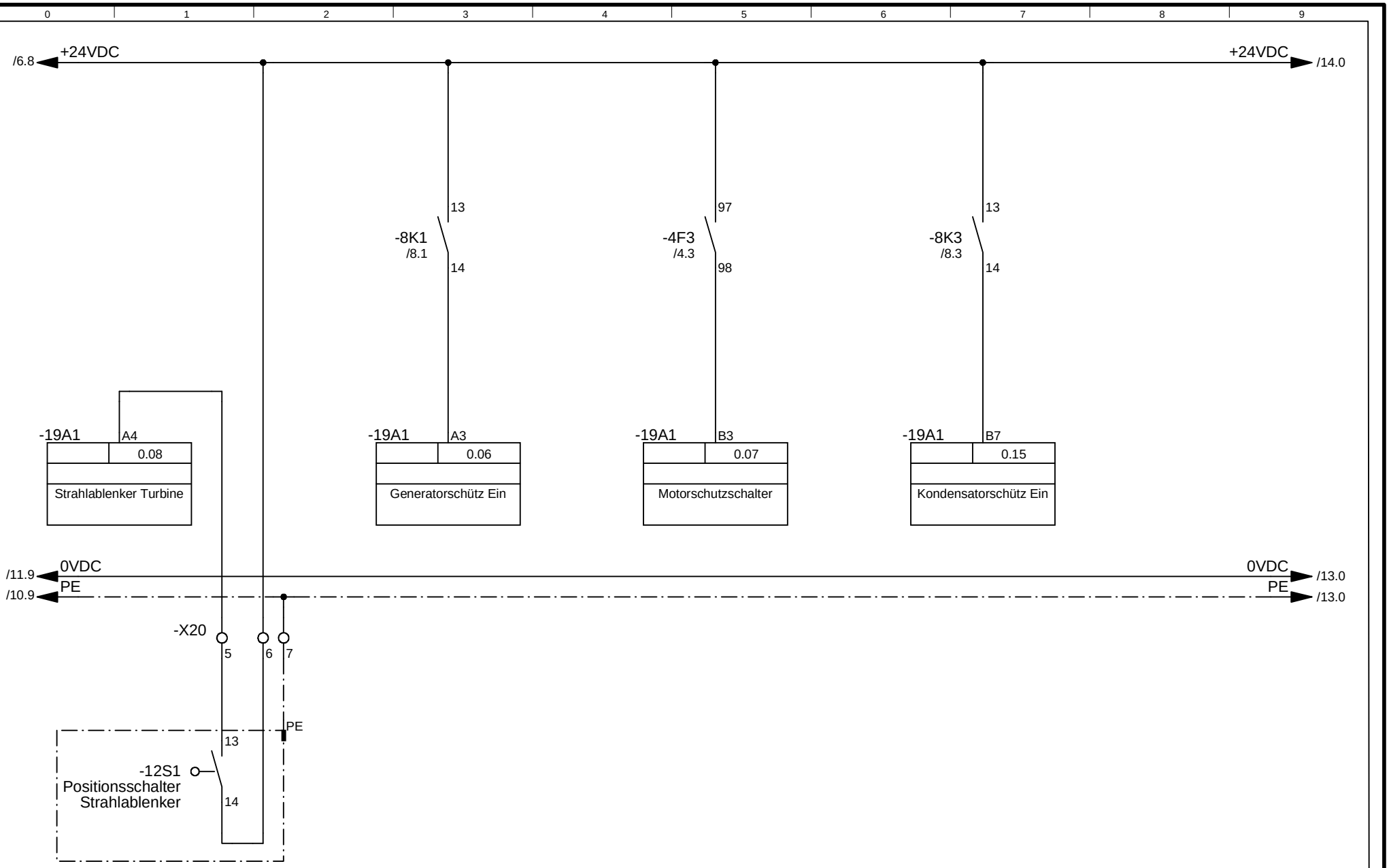
		24.07.2008	T. Burch	Datum	23.06.2008	Burch Maschinentechnik Sagenstrasse, CH-6062 Wilen	Projekt: Kraftwerk	Kleinwasserkraftwerk ANr. BDA Elektromagnet / Meldeleuchte	Kunde: Gebr. Burch	Anlage WKW_Wilen	
				Bearb.	T. Burch					Ort Maschinenhaus	
				Gepr.							Blatt-Nr. 9
Zustand	Änderung	Datum	Name	Norm		Urspr. / Ers. für	Ers. durch				Bl von Anz 9/28



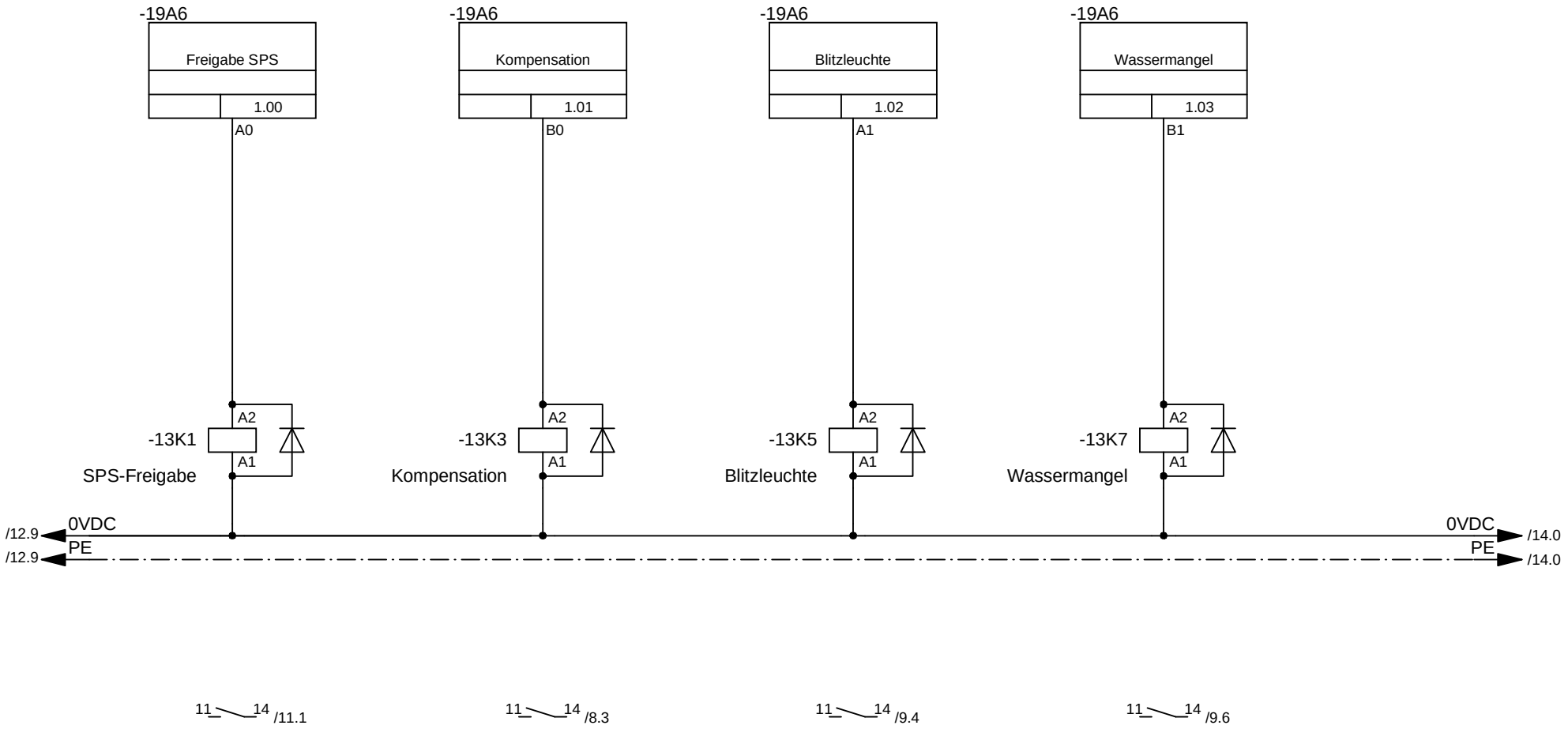
		03.07.2008	T. Burch	Datum	09.06.2008	Burch Maschinentechnik Sagenstrasse, CH-6062 Wilen	Projekt: Kraftwerk	Kleinwasserkraftwerk ANr. BDA Steuerung 1	Kunde: Gebr. Burch	Anlage WKW_Wilen	
				Bearb.	T. Burch					Ort Maschinenhaus	
				Gepr.						Blatt-Nr. 10	
Zustand	Änderung	Datum	Name	Norm		Urspr.	Ers. für	Ers. durch		Bl von Anz 10/28	



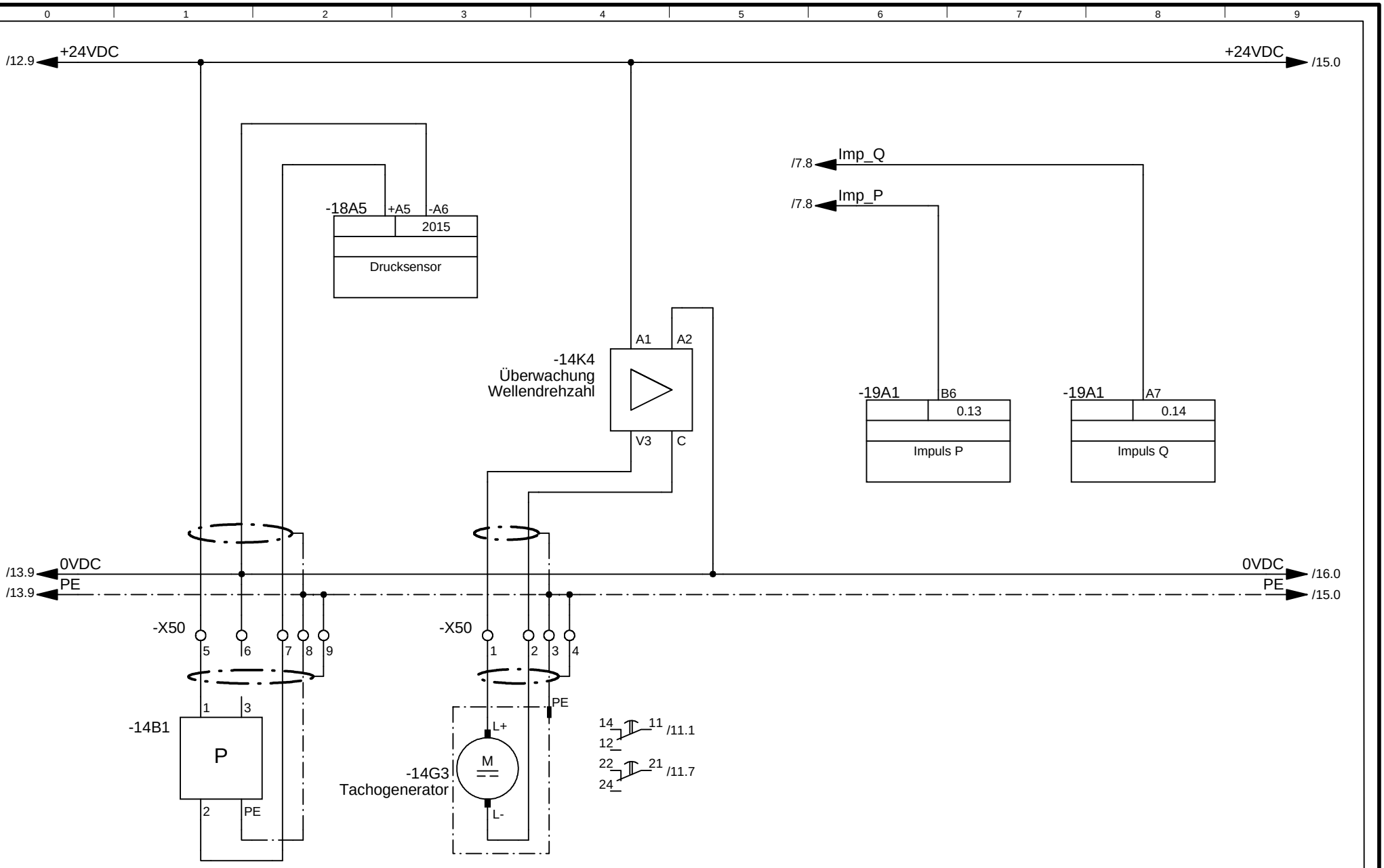
		09.07.2008	T. Burch	Datum	09.11.2007	Burch Maschinentechnik Sagenstrasse, CH-6062 Wilen	Projekt: Kraftwerk	Kleinwasserkraftwerk ANr. BDA Steuerung 2	Kunde: Gebr. Burch	Anlage WKW_Wilen	
				Bearb.	T. Burch					Ort Maschinenhaus	
				Gepr.						Blatt-Nr. 11	
Zustand	Änderung	Datum	Name	Norm		Urspr.	Ers. für	Ers. durch		Bl von Anz 11/28	



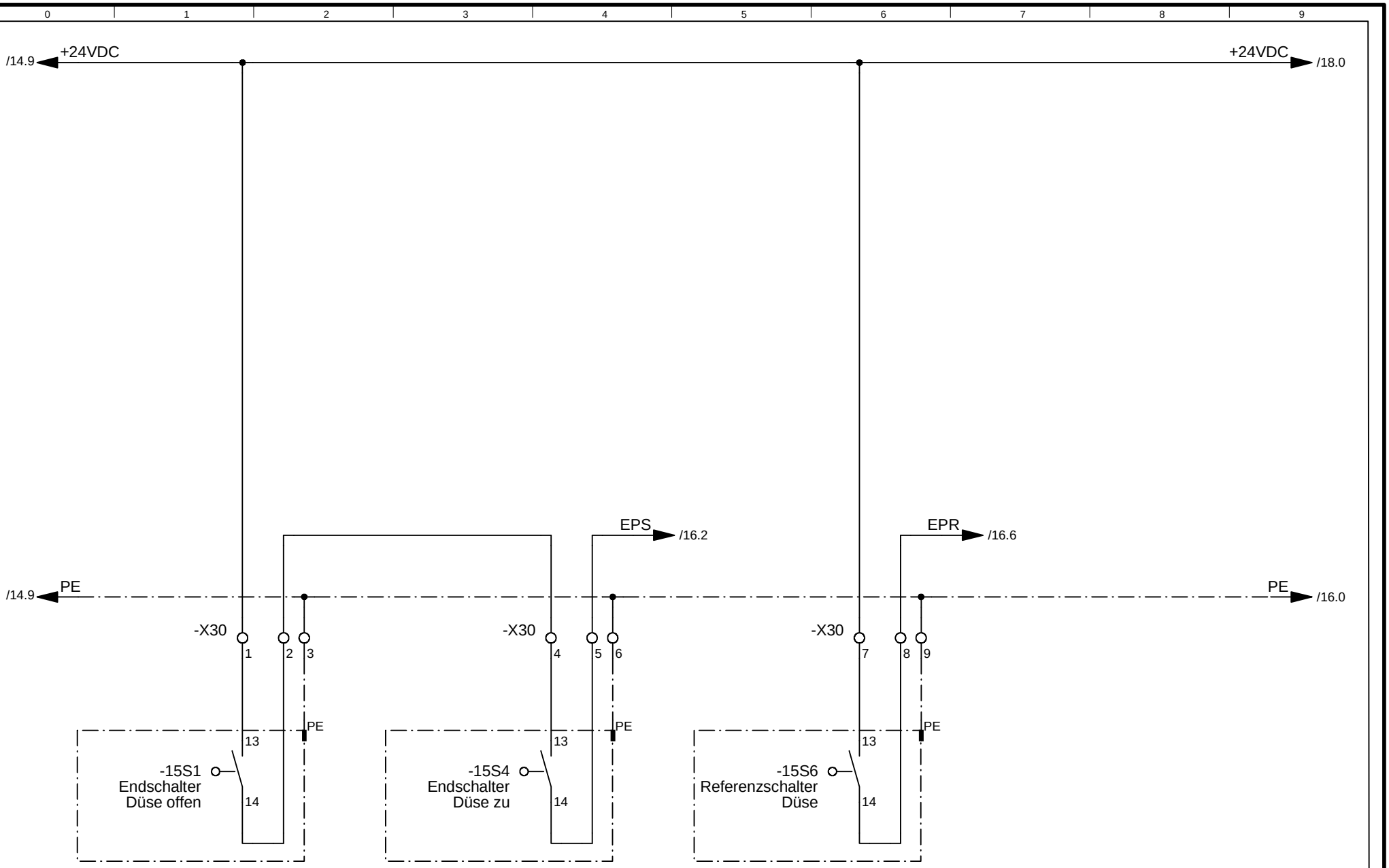
		24.06.2008	T. Burch	Datum	08.11.2007	Burch Maschinentechnik Sagenstrasse, CH-6062 Wilen	Projekt: Kraftwerk	Kleinwasserkraftwerk ANr. BDA Steuerung 3	Kunde: Gebr. Burch	Anlage WKW_Wilen	
				Bearb.	T. Burch					Ort Maschinenhaus	
				Gepr.						Blatt-Nr. 12	
Zustand	Änderung	Datum	Name	Norm		Urspr.	Ers. für	Ers. durch		Bl von Anz 12/28	



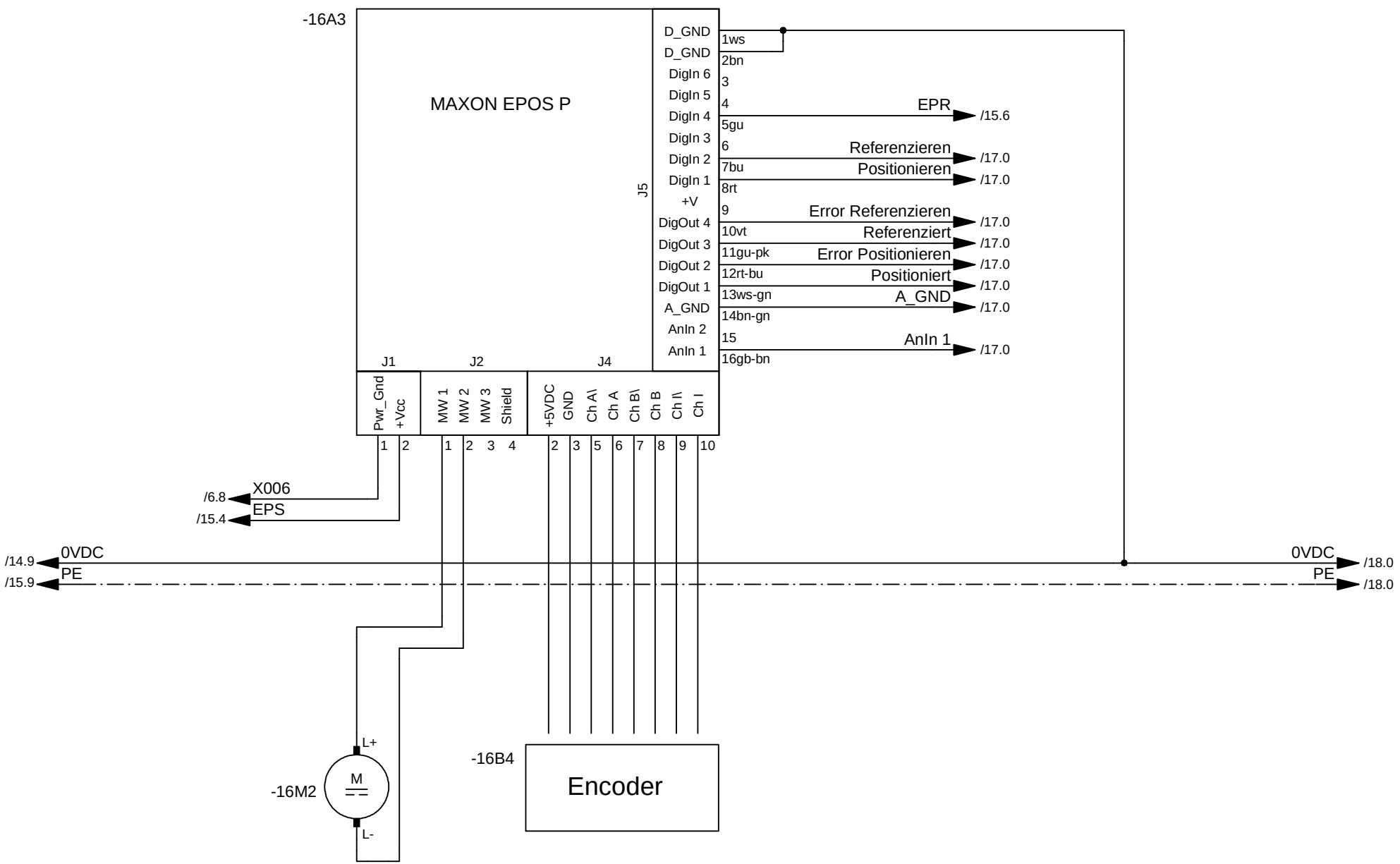
		09.07.2008	T. Burch	Datum	08.11.2007	Burch Maschinentechnik Sagenstrasse, CH-6062 Wilen	Projekt: Kraftwerk	Kleinwasserkraftwerk ANr. BDA Steuerung 4	Kunde: Gebr. Burch	Anlage WKW_Wilen	
				Bearb.	T. Burch					Ort Maschinenhaus	
				Gepr.						Blatt-Nr. 13	
Zustand	Änderung	Datum	Name	Norm		Urspr.	Ers. für	Ers. durch		Bl von Anz 13/28	



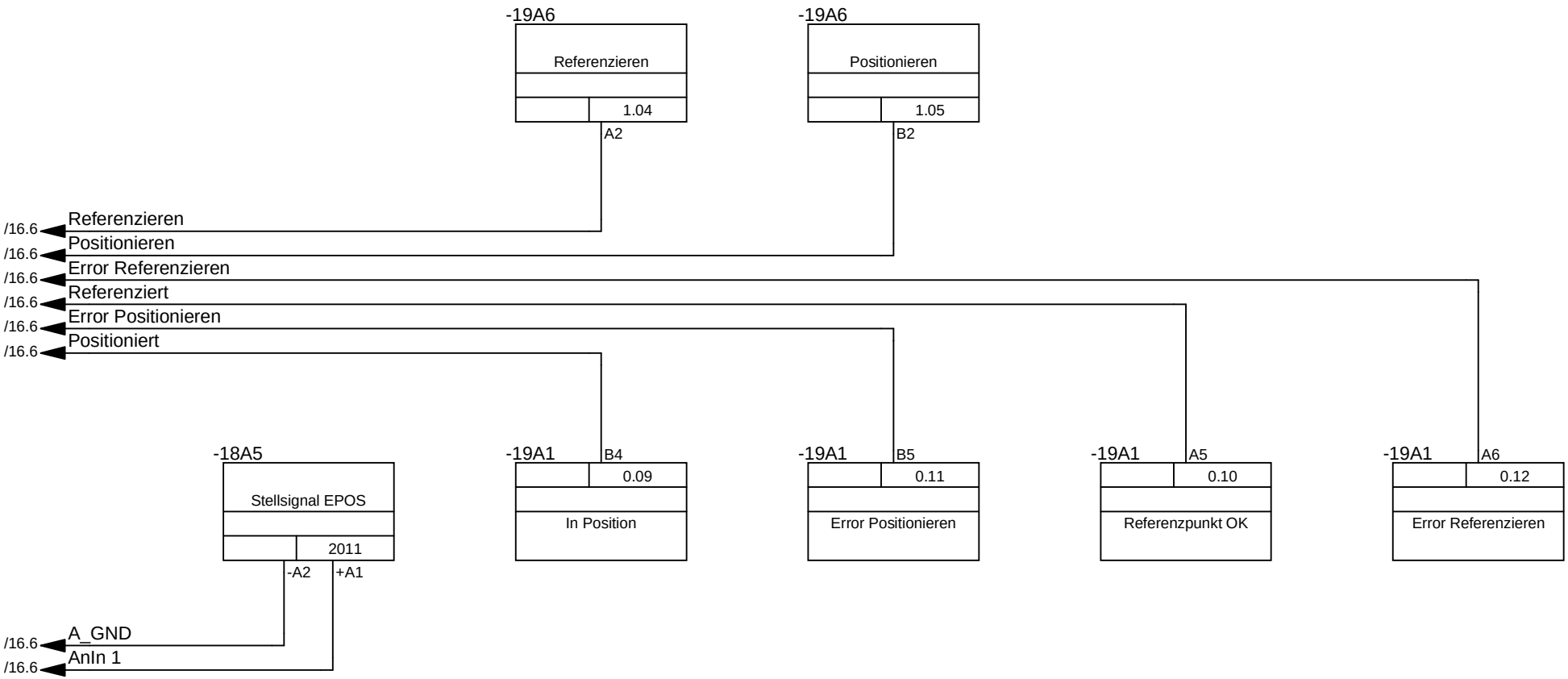
		14.07.2008	T. Burch	Datum	24.06.2008	Burch Maschinentechnik Sagenstrasse, CH-6062 Wilen	Projekt: Kraftwerk	Kleinwasserkraftwerk ANr. BDA Steuerung 5	Kunde: Gebr. Burch	Anlage WKW_Wilen
				Bearb.	T. Burch					Ort Maschinenhaus
				Gepr.						Blatt-Nr. 14
Zustand	Änderung	Datum	Name	Norm		Urspr. / Ers. für	Ers. durch			Bl von Anz 14/28



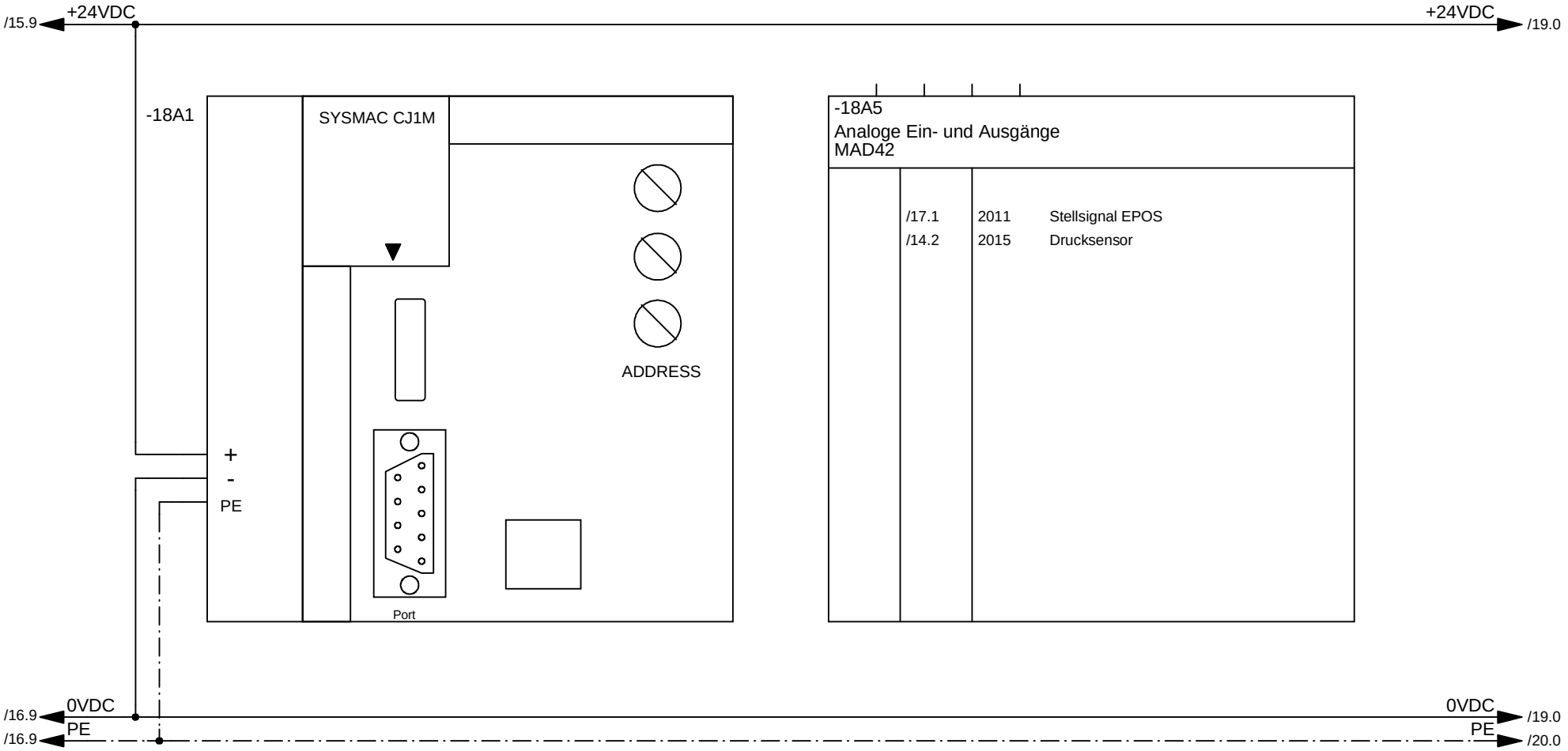
		24.06.2008	T. Burch	Datum	23.06.2008	Burch Maschinentechnik Sagenstrasse, CH-6062 Wilen	Projekt: Kraftwerk	Kleinwasserkraftwerk ANr. BDA Endschalter Düse	Kunde: Gebr. Burch	Anlage WKW_Wilen
				Bearb.	T. Burch					Ort Maschinenhaus
				Gepr.						Blatt-Nr. 15
Zustand	Änderung	Datum	Name	Norm		Urspr. / Ers. für	Ers. durch			Bl von Anz 15/28



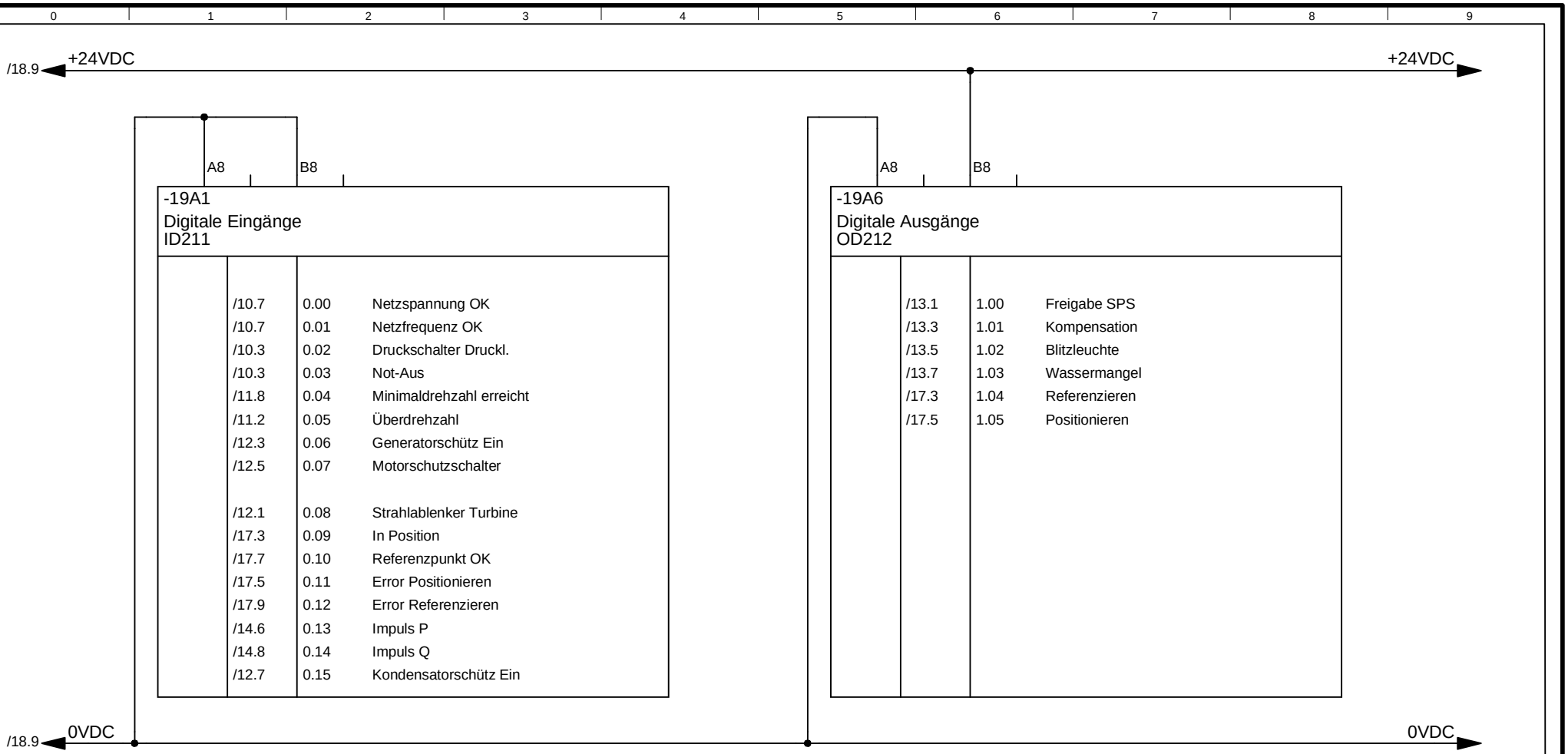
		09.07.2008	T. Burch	Datum	23.06.2008	Burch Maschinentechnik Sagenstrasse, CH-6062 Wilen	Projekt: Kraftwerk	Kleinwasserkraftwerk ANr. BDA EPOS P	Kunde: Gebr. Burch	Anlage WKW_Wilen	
				Bearb.	T. Burch					Ort Maschinenhaus	
				Gepr.						Blatt-Nr. 16	
Zustand	Änderung	Datum	Name	Norm		Urspr.	Ers. für	Ers. durch		Bl von Anz 16/28	



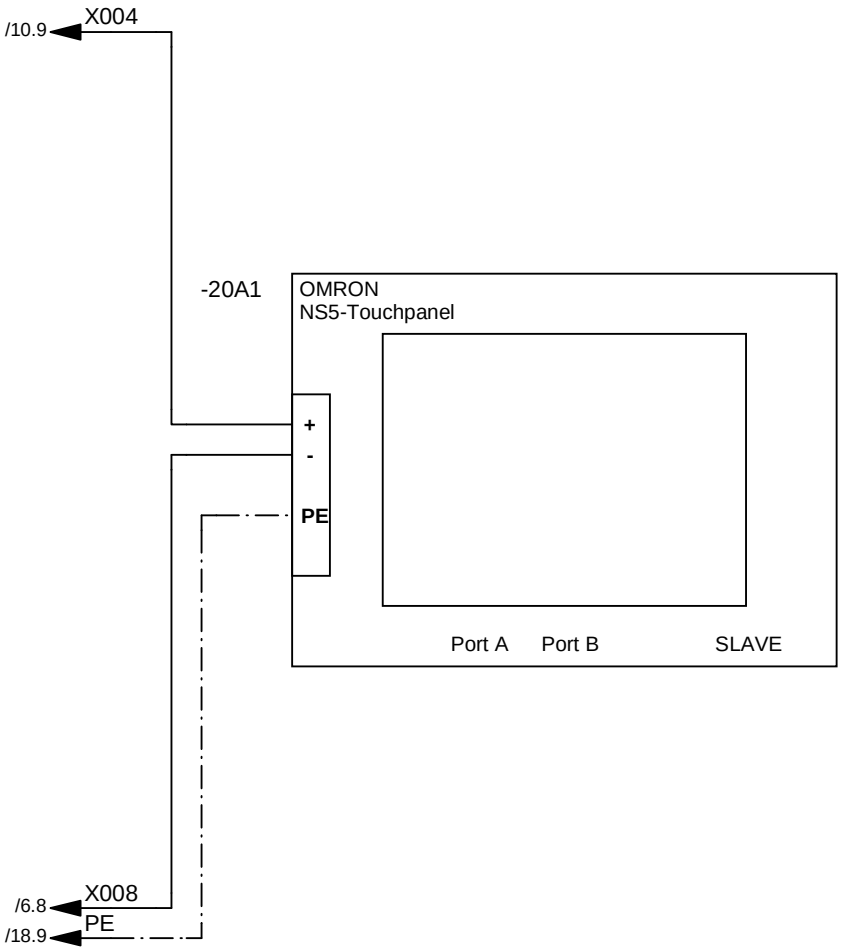
		14.07.2008	T. Burch	Datum	24.06.2008	Burch Maschinentechnik Sagenstrasse, CH-6062 Wilen	Projekt: Kraftwerk	Kleinwasserkraftwerk ANr. BDA Ansteuerung EPOS	Kunde: Gebr. Burch	Anlage WKW_Wilen	
				Bearb.	T. Burch					Ort Maschinenhaus	
				Gepr.						Blatt-Nr. 17	
Zustand	Änderung	Datum	Name	Norm		Urspr. / Ers. für	Ers. durch			Bl von Anz 17/28	



		14.07.2008	T. Burch	Datum	23.06.2008	Burch Maschinentechnik Sagenstrasse, CH-6062 Wilen	Projekt: Kraftwerk	Kleinwasserkraftwerk ANr. BDA SPS / Analoge E/A Baugruppe	Kunde: Gebr. Burch	Anlage WKW_Wilen
				Bearb.	T. Burch					Ort Maschinenhaus
				Gepr.						Blatt-Nr. 18
Zustand	Änderung	Datum	Name	Norm		Urspr. / Ers. für	Ers. durch			Bl von Anz 18/28



		03.07.2008	T. Burch	Datum	09.06.2008	Burch Maschinentechnik Sagenstrasse, CH-6062 Wilen	Projekt: Kraftwerk	Kleinwasserkraftwerk ANr. BDA Digitale E/A Baugruppe	Kunde: Gebr. Burch	Anlage WKW_Wilen
				Bearb.	T. Burch					Ort Maschinenhaus
				Gepr.						Blatt-Nr. 19
Zustand	Änderung	Datum	Name	Norm		Urspr. / Ers. für	Ers. durch			Bl von Anz 19/28



		03.07.2008	T. Burch	Datum	03.07.2008	Burch Maschinentechnik Sagenstrasse, CH-6062 Wilen	Projekt: Kraftwerk	Kleinwasserkraftwerk ANr. BDA Display	Kunde: Gebr. Burch	Anlage WKW_Wilen
				Bearb.	T. Burch					Ort Maschinenhaus
				Gepr.						Blatt-Nr. 20
Zustand	Änderung	Datum	Name	Norm		Urspr. / Ers. für	Ers. durch			Bl von Anz 20/28

				Außengerät		**=WKW_Wilen+Maschinenhaus-X00**			Innengerät	
				Blatt	Gerät	Blatt	Nr.	Brücken	Betriebsmittel	Blatt
				/6.5	-6T5:+	/6.7	1			
						/6.7	2			
						/6.7	3			
						/6.7	4		-7P6:11	/7.6
				/6.5	-6T5:-	/6.7	5			
						/6.7	6		-16A3:1	/16.3
						/6.8	7			
						/6.8	8		-20A1:	/20.2

		24.07.2008	T. Burch	Datum	24.07.2008	Burch Maschinentechnik Sagenstrasse, CH-6062 Wilen		Kleinwasserkraftwerk	Gebr. Burch	Anlage WKW_Wilen
				Bearb.	T. Burch					Ort Maschinenhaus
				Gepr.				Klemmenplan -X00	Version 0.0	Blatt-Nr. 1
Zustand	Änderung	Datum	Name	Norm		Urspr.	Ers. für	Ers. durch		Bl von Anz 21/28

				Außengerät		=WKW_Wilen+Maschinenhaus-X0			Innengerät	
				Blatt	Gerät	Blatt	Nr.	Brücken	Betriebsmittel	Blatt
				/2.4	-2P4:3	/3.2	1		-3F2:2	/3.2
				/2.4	-2P4:6	/3.2	2		-3F2:4	/3.2
				/2.4	-2P4:9	/3.2	3		-3F2:6	/3.2
				/2.4	-2P4:	/3.2	4		-3F2:	/3.2
				/2.1	-XX:PE	/3.2	5			
				/3.2	:	/3.2	6			
				/3.3	:	/3.3	7		-X1:4	/4.3

		24.07.2008	T. Burch	Datum	24.07.2008	Burch Maschinentechnik Sagenstrasse, CH-6062 Wilen		Kleinwasserkraftwerk	Gebr. Burch
				Bearb.	T. Burch				
				Gepr.				Klemmenplan -X0	Version 0.0
Zustand	Änderung	Datum	Name	Norm		Urspr.	Ers. für	Ers. durch	

Anlage WKW_Wilen
Ort Maschinenhaus
Blatt-Nr. 2
Bl von Anz 22/28

				Außengerät		=WKW_Wilen+Maschinenhaus-X1			Innengerät	
				Blatt	Gerät	Blatt	Nr.	Brücken	Betriebsmittel	Blatt
				/4.3	-4G3:U	/4.3	1		-7F3:2	/7.3
				/4.3	-4G3:V	/4.3	2		-7F3:4	/7.3
				/4.3	-4G3:W	/4.3	3		-7F3:6	/7.3
				/4.3	-4G3:PE	/4.3	4		-X0:7	/3.3
				/5.1	-5C1:	/5.1	5		-8K3:2	/5.1
				/5.1	-5C1:	/5.1	6		-8K3:4	/5.1
				/5.1	-5C1:	/5.1	7		-8K3:6	/5.1
				/5.4	-5C4:PE	/5.2	8			

		24.07.2008	T. Burch	Datum	24.07.2008	Burch Maschinentechnik Sagenstrasse, CH-6062 Wilen		Kleinwasserkraftwerk	Gebr. Burch	Anlage WKW_Wilen
				Bearb.	T. Burch					Ort Maschinenhaus
				Gepr.				Klemmenplan -X1	Version 0.0	Blatt-Nr. 3
Zustand	Änderung	Datum	Name	Norm		Urspr.	Ers. für	Ers. durch		Bl von Anz 23/28

Außengerät				=WKW_Wilen+Maschinenhaus-X10					Innengerät	
				Blatt	Gerät	Blatt	Nr.	Brücken	Betriebsmittel	Blatt
				/9.1	-9M1:	/9.1	1		-11K5:14	/9.1
				/9.1	-9M1:	/9.2	2		-8P6:2	/8.6
				/9.2	:PE	/9.2	3		-4T3:l	/4.3
				/9.4	-9H4:1	/9.4	4		-13K5:14	/9.4
				/9.4	-9H4:2	/9.4	5			
				/9.4	:PE	/9.4	6			
				/9.6	-9H6:X1	/9.6	7		-13K7:14	/9.6
				/9.6	-9H6:X2	/9.6	8			
				/9.7	:PE	/9.7	9		-X20:4	/10.3
				/6.5	-6M5:U	/6.4	10		-6S4:4	/6.4
				/6.5	-6M5:N	/6.5	11		-6K3:A2	/6.3
				/6.5	-6M5:	/6.5	12		-X1:8	/5.2

		24.07.2008	T. Burch	Datum	24.07.2008	Burch Maschinentechnik Sagenstrasse, CH-6062 Wilen		Kleinwasserkraftwerk	Gebr. Burch	Anlage WKW_Wilen
				Bearb.	T. Burch					Ort Maschinenhaus
				Gepr.				Klemmenplan -X10	Version 0.0	Blatt-Nr. 4
Zustand	Änderung	Datum	Name	Norm		Urspr.	Ers. für / Ers. durch			Bl von Anz 24/28

Außengerät				=WKW_Wilen+Maschinenhaus-X20				Innengerät	
				Blatt	Gerät	Blatt	Nr.	Brücken	Betriebsmittel	Blatt
				/10.2	-10S2:11	/10.1	1		-10S1:12	/10.1
				/10.2	-10S2:12	/10.2	2		-19A1:A1	/10.3
				/10.2	-10S2:14	/10.2	3		-6K1:18	/10.6
				/10.3	:PE	/10.3	4		-X10:9	/9.7
				/12.1	-12S1:13	/12.1	5		-19A1:A4	/12.1
				/12.1	-12S1:14	/12.2	6		-8K1:13	/12.3
				/12.2	:PE	/12.2	7		-X50:9	/14.2

		24.07.2008	T. Burch	Datum	24.07.2008	Burch Maschinentechnik Sagenstrasse, CH-6062 Wilen		Kleinwasserkraftwerk	Gebr. Burch	Anlage WKW_Wilen
				Bearb.	T. Burch					Ort Maschinenhaus
				Gepr.				Klemmenplan -X20	Version 0.0	Blatt-Nr. 5
Zustand	Änderung	Datum	Name	Norm		Urspr.	Ers. für / Ers. durch			Bl von Anz 25/28

Außengerät				=WKW_Wilen+Maschinenhaus-X30					Innengerät	
				Blatt	Gerät	Blatt	Nr.	Brücken	Betriebsmittel	Blatt
				/15.1	-15S1:13	/15.1	1		-14K4:A1	/14.4
				/15.1	-15S1:14	/15.2	2			
				/15.2	:PE	/15.2	3		-X50:4	/14.4
				/15.4	-15S4:13	/15.4	4			
				/15.4	-15S4:14	/15.4	5		-16A3:2	/16.3
				/15.4	:PE	/15.4	6			
				/15.6	-15S6:13	/15.6	7			
				/15.6	-15S6:14	/15.6	8		-16A3:5gu	/16.3
				/15.6	:PE	/15.6	9		-18A1:	/18.1

		24.07.2008	T. Burch	Datum	24.07.2008	Burch Maschinentechnik Sagenstrasse, CH-6062 Wilen		Kleinwasserkraftwerk	Gebr. Burch	Anlage WKW_Wilen
				Bearb.	T. Burch					Ort Maschinenhaus
				Gepr.				Klemmenplan -X30	Version 0.0	Blatt-Nr. 6
Zustand	Änderung	Datum	Name	Norm		Urspr.	Ers. für / Ers. durch			Bl von Anz 26/28

Außengerät				=WKW_Wilen+Maschinenhaus-X50					Innengerät	
				Blatt	Gerät	Blatt	Nr.	Brücken	Betriebsmittel	Blatt
				/14.3	-14G3:L+	/14.3	1		-14K4:V3	/14.4
				/14.3	-14G3:L-	/14.3	2		-14K4:C	/14.4
				/14.4	:PE	/14.4	3			
				/14.4	:	/14.4	4			
				/14.1	-14B1:1	/14.1	5		-4F3:97	/12.5
						/14.1	6		-14K4:A2	/14.4
				/14.1	-14B1:2	/14.2	7		-18A5:+A5	/14.2
				/14.1	-14B1:PE	/14.2	8			
				/14.2	:	/14.2	9		-X20:7	/12.2

		24.07.2008	T. Burch	Datum	24.07.2008	Burch Maschinentechnik Sagenstrasse, CH-6062 Wilen		Kleinwasserkraftwerk	Gebr. Burch	Anlage WKW_Wilen
				Bearb.	T. Burch					Ort Maschinenhaus
				Gepr.				Klemmenplan -X50	Version 0.0	Blatt-Nr. 7
Zustand	Änderung	Datum	Name	Norm		Urspr.	Ers. für / Ers. durch			Bl von Anz 27/28

				Außengerät		=WKW_Wilen+Maschinenhaus-XX			Innengerät	
				Blatt	Gerät	Blatt	Nr.	Brücken	Betriebsmittel	Blatt
						/2.1	L1		-2S1:2	/2.1
						/2.1	L2		-2S1:4	/2.1
						/2.1	L3		-2S1:6	/2.1
						/2.1	N		-2P4:11	/2.4
						/2.1	PE		-X0:5	/3.2

		24.07.2008	T. Burch	Datum	24.07.2008	Burch Maschinentechnik Sagenstrasse, CH-6062 Wilen		Kleinwasserkraftwerk	Gebr. Burch	Anlage WKW_Wilen
				Bearb.	T. Burch					Ort Maschinenhaus
				Gepr.				Klemmenplan -XX	Version 0.0	Blatt-Nr. 8
Zustand	Änderung	Datum	Name	Norm		Urspr.	Ers. für	Ers. durch		Bl von Anz 28/28

Technische Dokumentation und Sicherheitsnachweis nach EG-Maschinenrichtlinie 98/37/EG Anhang V für folgendes Produkt:

Kleinwasserkraftwerk

bei

Gebr. Burch, 6062 Wilen

Autoren:
Tobias Burch, Sagenstrasse 10, 6062 Wilen
Silvan Gisler, Oberfeld, 6404 Greppen

Dokumentversion: 1.1

Luzern, 25. Juli 2008

CE

Inhalt

1 Einleitung ... 3

1.1 Grundlage ... 3
1.2 Geltungsbereich und Einsatzbereich ... 3
1.3 Liste der verwendeten EG-Richtlinien und EN-Normen ... 4
1.4 Konformitätserklärung ... 5

2 Risikobeurteilung ... 6

2.1 Steuerungstechnik ... 7
2.1.1 Elektrische Gefährdung durch ... 7
2.1.2 Unerwarteter Anlauf durch ... 7
2.1.3 Fehlende Möglichkeit zum Stillstand ... 8
2.1.4 Unzureichende Anweisungen ... 8
2.2 Mechanik ... 9
2.2.1 Gefährdung durch Quetschen ... 9
2.2.2 Gefährdung durch Erfassen oder Aufwickeln ... 9
2.2.3 Gefährdung durch kinetische Energien ... 10
2.2.4 Gefährdung durch Flüssigkeiten unter Druck ... 10
2.3 Bedienpersonal ... 11

3 Schutzmassnahmen ... 12

3.1 Konstruktive Schutzmassnahmen ... 12
3.1.1 Bei der konstruktiven Auslegung der Installation wurde Wert gelegt auf: ... 12
3.1.2 Stillsetzen im Notfall (Not-Aus): ... 12
3.1.3 Steuerung: Sicherheitsfunktionen ... 12
3.1.4 Schutz gegen elektrischen Schlag im Schaltschrank und Verdrahtung ... 12

4 Sicherheitsbetrachtung ... 13

4.1 Sicherheitsbetrachtungen gemäss Maschinenrichtlinie 98/37/EG ... 13
4.2 Sicherheitsbetrachtungen gemäss Niederspannungsrichtlinie 73/23/EWG ... 13
4.2.1 Allgemeine Bedingungen ... 13
4.2.2 Schutz vor Gefahren, die von elektrischen Betriebsmitteln ausgehen können ... 15
4.2.3 Schutz vor Gefahren, die durch äussere Einwirkung auf elektrische Betriebsmittel entstehen können ... 15

5 Prüfprotokoll ... 16

5.1 Prüfprotokoll EN 60204-1 ... 16

6 Qualitätssicherung der Schutzmassnahmen ... 18

1 Einleitung

Die folgende technische Dokumentation beschreibt die Funktionalität und den Sicherheitsnachweis der Kraftwerksanlage bei Gebr. Burch in 6062 Wilen.

1.1 Grundlage

Die Ausarbeitung dieser Dokumentation basiert auf der EG-Maschinenrichtlinie 98/37/EG, der EMV-Richtlinie 89/336/EWG, der Niederspannungsrichtlinie 73/23/EWG und damit der Gesetzgebung in der EU, dem EWR und der Schweiz.

Eine detailliertere Erarbeitung der Sicherheitsaspekte erfolgt über die Anforderungen der EG-Maschinenrichtlinie mit:

- Ausarbeitung der Gefährdungsanalyse, für alle vorkommenden Betriebsarten, Gefahrenquellen und betroffenen Personen
- Ergreifen von Schutzmassnahmen gemäss Risiko und Stand der Technik
- Wahl der Schutzmassnahmen in der geforderten Reihenfolge:
    - Konstruktive Schutzmassnahmen
    - Zusätzliche Schutzmassnahmen
    - Warnung vor Restgefahren mit geforderten Verhalten
- Über alle Sicherheitsaspekte wird die technische Dokumentation erstellt (MRL, Anhang V)
- Die Auslieferung erfolgt mit der EG-Konformitätserklärung (MRL, Anhang V)
- An der Installation wird die CE-Konformitätskennzeichnung angebracht (MRL, Anhang V)

1.2 Geltungsbereich und Einsatzbereich

Einsatzauftrag

- Elektrische Energieproduktion durch Wasserkraft

Allgemeine Angaben

- Umgebungstemperatur: -15° – 40° C
- Temperatur Maschinenraum: 5° – 40° C
- Luftfeuchte: < 90 %
- Aufstellhöhe: < 1000 m ü. Meer

Wichtigste Technische Daten

- Elektrischer Anschluss: 3x400VAC, 50Hz (3LNPE)
- Steuerspannung: 24 VDC

HINWEIS:

Bei sämtlichen zusätzlichen Stoffen und Komponenten, welche mit der Kraftwerksanlage in Verbindung gebracht werden, müssen die jeweiligen Herstellerangaben in Betracht gezogen werden. Diesbezüglich sind auch die Sicherheits-, Handhabungs- und Entsorgungsanweisungen zu befolgen.

1.3 Liste der verwendeten EG-Richtlinien und EN-Normen

98/37/EG	Maschinenrichtlinie mit der Änderung 98/79/EG
89/336/EWG	EMV-Richtlinie mit den Änderungen 91/263/EWG und 92/31/EWG
73/23/EWG	Niederspannungsrichtlinie mit der Änderung 93/68/EWG

Bei der Ausarbeitung des Sicherheitskonzeptes wurden zusätzlich die folgenden rechtlich unverbindlichen europäischen Normen zu Rate gezogen:

EN 1050	Sicherheit von Maschinen – Leitsätze zur Risikobeurteilung
EN 60204-1	Sicherheit von Maschinen – Elektrische Ausrüstung von Maschinen Teil 1: Allgemeine Anforderungen

1.4 Konformitätserklärung

CE

Konformitätserklärung

Hiermit erklären wir, dass die nachfolgend bezeichnete Anlage aufgrund ihrer Konzipierung und Bauart, sowie in der von uns in Verkehr gebrachten Ausführung, den einschlägigen grundlegenden Sicherheits- und Gesundheitsanforderungen der relevanten EG - Richtlinien entsprechen.
Bei einer nicht mit uns abgestimmten Änderung der Anlage nach ihrer Übergabe an den Benutzer, verliert diese Erklärung ihre Gültigkeit.

Bezeichnung der Maschine:	Kleinwasserkraftwerk
Artikel Nr. :	08-001
Index:	01
Einschlägige EG - Richtlinien :	- EG - Maschinenrichtlinie 98/37/EG - EG – Niederspannungsrichtlinie 73/23/EWG - EG - Richtlinie Elektromagnetische Verträglichkeit 89/336/EWG mit den Änderungen 91/263/EWG und 92/31/EWG
Angewandte harmonisierte Normen insbesondere :	EN 1050; EN 60204-1
Ort, Datum	Wilen, Freitag 25. Juli 2008

Bevollmächtigter (Unterschrift)	……	……
Name des Unterzeichneten	Tobias Burch	Silvan Gisler
Stellung des Unterzeichneten	Engineering Steuerung und Regelung, Fertigung Steuerschrank	Engineering Steuerung und Regelung, Datenaufzeichnung

2 Risikobeurteilung

Die Risikobeurteilung erfolgt nach den Schritten der Europäischen Norm EN 1050: 1996 Bild 1, in einem iterativen Prozess zum Erreichen der Sicherheit:

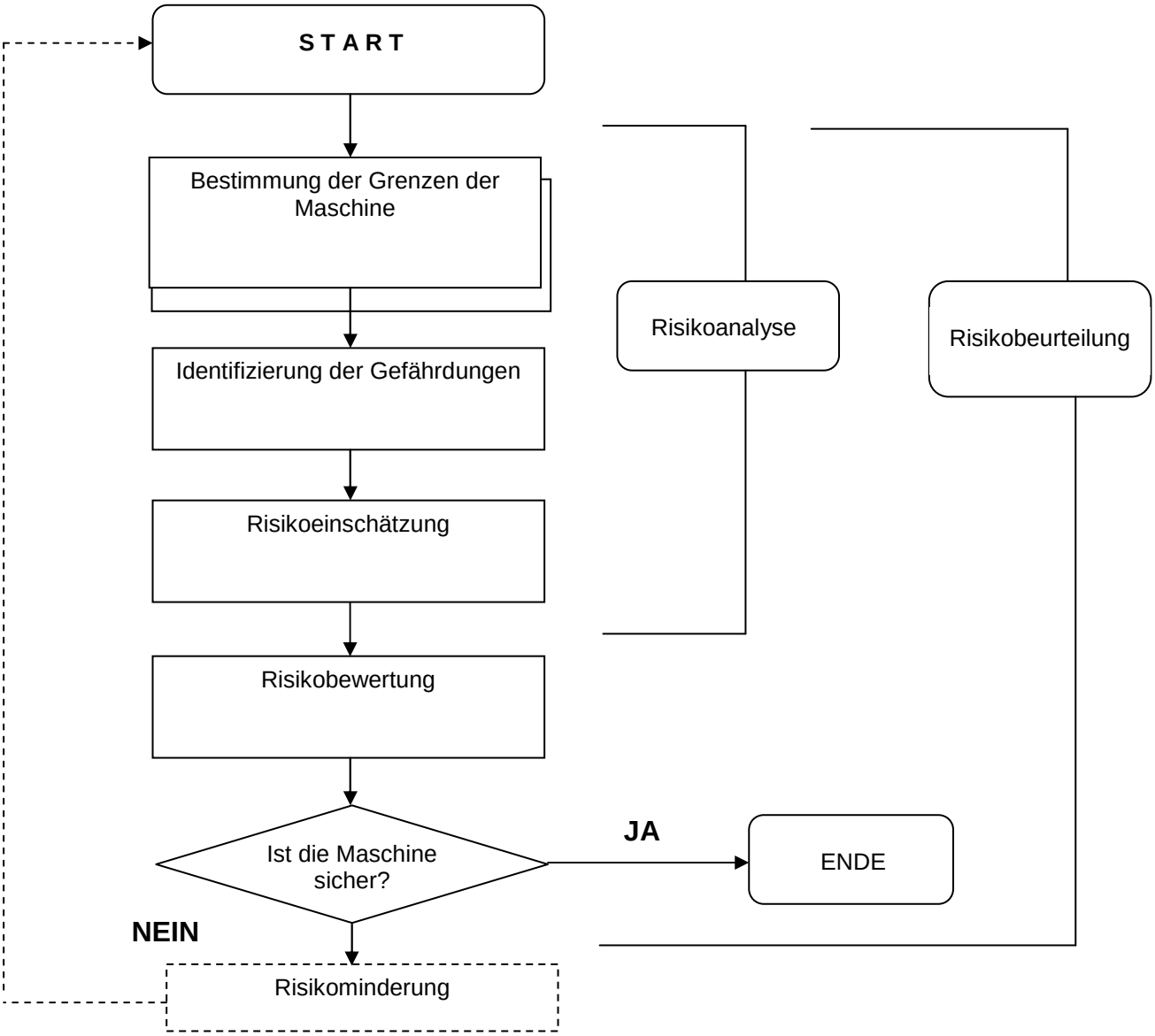


Abbildung 1: Risikobeurteilung EN-1050 1996 Bild 1

2.1 Steuerungstechnik

2.1.1 Elektrische Gefährdung durch

- ***direkte Berührung von Personen mit unter Spannung stehenden Teilen***

  Gegenmassnahmen: Schaltschrank abgeschlossen→Öffnen des Schaltschrankes nur spannungslos und von instruiertem Fachpersonal!

  Restrisiko: sehr klein

  Akzeptiert: JA

- ***Berührung von Personen mit Teilen, die durch Fehlzustände spannungsführend geworden sind***

  Gegenmassnahmen: Schaltschrank abgeschlossen→Erdung/Leistungsschutzschalter

  Restrisiko: sehr klein

  Akzeptiert: JA

2.1.2 Unerwarteter Anlauf durch

- ***Wiederherstellung der Energiezuführung nach einer Unterbrechung***

  Gegenmassnahmen: Manueller Neustart der gesamten Anlage.

  Restrisiko: sehr klein

  Akzeptiert: JA

- ***Bedienungsfehler***

  Gegenmassnahmen: Schulung des Bedienpersonals. Nur eine Fachkraft darf die Anlage bedienen. Weitere Personen müssen sich ausserhalb des Maschinenraums befinden.

  Restrisiko: vorhanden

  Akzeptiert: JA

2.1.3 Fehlende Möglichkeit zum Stillstand

- ***NOT-Aus Schalter***

  Gegenmassnahmen: NOT-Aus Schalter beim Steuerschrank

  Restrisiko: klein

  Akzeptiert: JA

2.1.4 Unzureichende Anweisungen

- ***kein Unfallprotokoll***

  Gegenmassnahmen: Die Dokumentation der Unfallereignisse wird dem Kunden überlassen.

  Restrisiko: sehr klein

  Akzeptiert: JA

2.2 Mechanik

2.2.1 Gefährdung durch Quetschen

- ***Strahlablenker***

  Gegenmassnahmen: Nur von instruiertem Personal zugänglich.

  Restrisiko: vorhanden

  Akzeptiert: JA

- ***Turbinenwelle und Schwungrad***

  Gegenmassnahmen: Nur von instruiertem Personal zugänglich.

  Restrisiko: vorhanden

  Akzeptiert: JA

2.2.2 Gefährdung durch Erfassen oder Aufwickeln

- ***Strahlablenker***

  Gegenmassnahmen: Nur von instruiertem Personal zugänglich.

  Restrisiko: klein

  Akzeptiert: JA

- ***Turbinenwelle und Schwungrad***

  Gegenmassnahmen: Nur von instruiertem Personal zugänglich.

  Restrisiko: vorhanden

  Akzeptiert: JA

2.2.3 Gefährdung durch kinetische Energien

- ***Masse Schwungrad, Generatorrotor, Turbinenrad***

  Gegenmassnahmen: Nur von instruiertem Personal zugänglich.

  Restrisiko: vorhanden

  Akzeptiert: JA

2.2.4 Gefährdung durch Flüssigkeiten unter Druck

- ***Druckleitung***

  Gegenmassnahmen: Strömungsänderungen werden langsam vorgenommen.

  Restrisiko: gering

  Akzeptiert: JA

2.3 Bedienpersonal

In der folgenden Tabelle werden Personen und Tätigkeiten an der Kraftwerkanlage aufgelistet:

Bezeichnung:		**Tätigkeit:**	**Bemerkung:**
1	Anlagenbetreuer	Überwachen der Maschine und Durchführen von leichteren Wartungsarbeiten	
2	Anlagenbediener	Selbständiges Bedienen der Maschine, Eingewiesen durch ausgebildetes Personal	
3	Betriebsmechaniker mit Unterweisung	Wartung und Unterhalt an der Maschine nach Absprache mit Vorgesetzten und eingewiesen durch ausgebildetes Personal	
4	Betriebselektriker mit Unterweisung	Vorrichtung und Unterhalt an Maschine nach Absprache mit Vorgesetzten und eingewiesen durch ausgebildetes Personal	
5	Hilfskraft	Führt indirekte nicht produktive Arbeiten an der Anlage unter Aufsicht aus	Immer unter Aufsicht

Bemerkung:
Nicht aufgeführtes Personal darf an der Kraftwerkanlage nicht arbeiten!

3 Schutzmassnahmen

3.1 Konstruktive Schutzmassnahmen

3.1.1 Bei der konstruktiven Auslegung der Installation wurde Wert gelegt auf:

Sehr stabile Konstruktion. Damit können Vibrationen und Lärm zu einem grossen Teil vermindert werden. Sämtliche Kanten sind entgratet oder gerundet.

Ergonomische Sicherheitsabstände gegen Einklemm- und Quetschgefahr für Körperteile soweit möglich.

3.1.2 Stillsetzen im Notfall (Not-Aus):

Sämtliche gefahrbringenden Bewegungen und Energien werden beim Drücken des Not-Aus Schalters so schnell als nötig stillgesetzt, Energien werden getrennt und abgebaut.

Die Notabschaltung entspricht der Stopp-Funktion / Kategorie 0 nach EN 60204-1: 1997 / 9.2.2 (Sofortiges Stillsetzen durch sofortiges Abschalten der Energie zu den Maschinen-Antriebselementen).
Die Rücksetzung der Notabschaltung wird von der Steuerung aus betätigt. Die Rücksetzung kann nur erfolgen, wenn die Vor-Ort-Entriegelung des Not-Aus Schalters erfolgt ist.

3.1.3 Steuerung: Sicherheitsfunktionen

Folgende Sicherheitsfunktionen sind ausgeführt:

- Hauptschalter gelb/rot (extern, links von Steuerschrank)
- Stillsetzen der ganzen Anlage im Notfall (Not-Aus)

3.1.4 Schutz gegen elektrischen Schlag im Schaltschrank und Verdrahtung

Folgende Massnahmen wurden erarbeitet:

- Warnschild angebracht
- Schaltschrank, Tür verriegelt
- Erdverbindungen

4 Sicherheitsbetrachtung

4.1 Sicherheitsbetrachtungen gemäss Maschinenrichtlinie 98/37/EG

Die nachfolgende Auflistung zeigt die Sicherheitsfunktionen und deren Wirkung:

Hauptschalter
Wirkung: allpoliges Trennen der elektrischen Energie. < 63 A, 43 kW.

Stillsetzen im Notfall (Not-Aus)
Wirkung: Stillsetzen durch sofortiges Abschalten der Energie (EN 60204-1: 1997, Ziffer 9.2.2, Kategorie 0).

4.2 Sicherheitsbetrachtungen gemäss Niederspannungsrichtlinie 73/23/EWG

Die Verifikation wird mit den 11 Sicherheitszielen aus dem Anhang I

Wichtigste Angaben über die Sicherheitsziele für elektrische Betriebsmittel zur Verwendung innerhalb bestimmter Spannungsgrenzen.

4.2.1 Allgemeine Bedingungen

1. *Die wesentlichen Merkmale, von deren Kenntnis und Beachtung eine bestimmungsmässige und gefahrlose Verwendung abhängt, sind auf den elektrischen Betriebsmitteln oder, falls dies nicht möglich ist, auf einem beigegebenen Hinweis angegeben.*

   Massnahmen:
   - Sicherheitskonzept gemäss Risiko und Stand der Technik mit Schwerpunkten auf technischen Schutzmassnahmen.
   - Hinweisschilder auf Restgefährdungen an der Maschine.
   - Betriebsanleitung wird jeder Lieferung beigelegt.

2. Das Herstellerzeichen oder die Handelsmarke ist deutlich auf den elektrischen Betriebsmitteln oder, wenn dies nicht möglich ist, auf der Verpackung angebracht.

   Massnahmen:
   - Typenschild mit allen notwendigen Angaben angebracht an der Maschine.
   - Schaltschrankkennzeichnung EN 60204-1: 1997, Kapitel 17.4.

3. *Die elektrischen Betriebsmittel sowie ihre Bestandteile sind so beschaffen, dass sie sicher und ordnungsgemäss verbunden oder angeschlossen werden können.*

   Massnahmen:
   - Installationsanleitung integriert in der Betriebsanleitung.
   - Elektrische Ausrüstung der Maschine nach dem Stand der Technik, Aderendhülsen.

4. *Die elektrischen Betriebsmittel sind so konzipiert und beschaffen, dass bei bestimmungsmässiger Verwendung und ordnungsmässiger Unterhaltung der Schutz vor den in den Nummern 2 und 3 aufgeführten Gefahren gewährleistet ist.*

   Massnahmen:

   - Umfangreiche Gefährdungsanalyse, Risikobeurteilung und Schutzmassnahmen nach Stand der Technik.
   - Definition der bestimmungsgemässen Verwendung in der Betriebsanleitung.

4.2.2 Schutz vor Gefahren, die von elektrischen Betriebsmitteln ausgehen können

5. *Menschen und Nutztiere angemessen vor den Gefahren einer Verletzung oder anderen Schäden geschützt sind, die durch direkte oder indirekte Berührung verursacht werden können:*

   Massnahmen:

   - Schutzmassnahmen gegen elektrischen Schlag

6. *Keine Temperaturen, Lichtbogen oder Strahlungen entstehen, aus denen sich Gefahren ergeben können:*

   Massnahmen:

   - Sicherheitskonzept mit Stand der Technik.
   - Elektrische Ausrüstung ausgeführt nach EN 60204-1.

7. *Menschen, Nutztiere und Sachen angemessen vor nicht elektrischen Gefahren geschützt werden, die erfahrungsgemäss von elektrischen Betriebsmitteln ausgehen:*

   Massnahmen:

   - Hinweisschilder auf Restgefährdungen an der Maschine.
   - Umfangreiche Sicherheitskonzept in allen Betriebsarten gegen nicht elektrische Gefährdungen siehe Kapitel 2, 3, 4 und 5.

8. *Die Isolierung den vorgesehenen Beanspruchungen angemessen ist.*

   Massnahmen:

   - Elektrische Ausrüstung nach Stand der Technik ausgeführt.

4.2.3 Schutz vor Gefahren, die durch äussere Einwirkung auf elektrische Betriebsmittel entstehen können

9. *den vorgesehenen mechanischen Beanspruchungen so weit standhalten, dass Menschen, Nutztiere oder Sachen nicht gefährdet werden:*

   Massnahmen:

   - Umfangreiches Sicherheitskonzept

10. *unter den vorgesehenen Umgebungsbedingungen den nicht mechanischen Einwirkungen so weit standhalten, dass Menschen, Nutztiere oder Sachen nicht gefährdet werden:*

    Massnahmen:

    - Umfangreiches Sicherheitskonzept

11. *bei den vorgesehenen Überlastungen Menschen, Nutztiere oder Sachen in keiner Weise gefährden.*

    Massnahmen:

    - Prinzipiell sind keine Überlastungen vorgesehen.
    - Schutzmassnahmen im elektrischen Bereich nach Stand der Technik.

5 Prüfprotokoll

5.1 Prüfprotokoll EN 60204-1

Allgemeine Themenpunkte

- Alle Risiken und Restrisiken sind durch die Risikoanalyse akzeptiert	i.O.

Schutz gegen elektrischen Schlag

- Keine Gefährdung durch direktes Berühren	i.O.
- Keine Gefährdung durch indirektes Berühren	i.O.
- Alle Komponenten sind festgeschraubt	i.O.
- Alle Schrauben an Komponenten und Klemmen festgezogen	i.O.
- Leiter gut unterklemmt	i.O.

Potentialausgleich

- Alle notwendigen Erdverbindungen vorhanden	i.O.

Bedienerschnittstelle

- Richtige Auswahl der Farbcodierung	i.O.
- Einfacher Zugang zum Ausschalten/Stillsetzen	i.O.

Leiter, Kabel und Leitungen

- Aderquerschnitte nach EN 60204-1	i.O.
- Querschnitt und Farbe von Schutzleiter nach EN 60204-1	i.O.

Verdrahtungstechnik und Verdrahtungskontrolle

- Leiter mit gepressten Aderendhülsen	i.O.
- Lötverbindungen kontrolliert	i.O.
- Verdrahtung Hauptstromkreis (Durchgangsprüfung)	i.O.
- Verdrahtung Steuerstromkreis (Durchgangsprüfung)	i.O.
- Abschirmungen korrekt verlegt und angeschlossen	i.O.
- Alle Komponenten und Klemmen beschriftet	i.O.

Isolation und Schutzleiterprüfung

- Isolationswiderstandprüfung	i.O.
- Schutzleiterprüfung	i.O.

Funktionskontrolle

- Überstromschutz vorhanden/eingestellt	i.O.
- Steuerspannung kontrolliert	i.O.
- Funktionskontrolle durchgeführt	i.O.

Betriebsmittelkennzeichnung und Warnschilder

- Betriebsmittelkennzeichnung vorhanden	i.O.
- Warnschilder angebracht	i.O.
- Betriebsanleitung und technische Dokumentation vorhanden	i.O.

Datum:	**Prüfer:**

6 Qualitätssicherung der Schutzmassnahmen

Der Themenpunkt *Qualitätssicherung der Schutzmassnahmen* beinhaltet eine Checkliste der erarbeiteten Schutzmassnahmen.

Beschreibung	Status		Erläuterung NIO
	IO	NIO	
Wartungsplan vorhanden	X		
Betriebsanleitungen vorhanden	X		
Elektroschema vorhanden	X		
Beschriftungen angebracht (Typenschild Schaltschrank)	X		
Herstellererklärungen vorhanden	X		
Konformitätserklärung vorhanden	X		
Lose Kabel befestigt	X		
Instruktion im Normalbetrieb an Anlagenbetreuer, Anlagenbediener	X		
Instruktion im Sonderbetrieb Umrüsten an Anlagenbetreuer	X		
Instruktion im Sonderbetrieb Störungssuche und -behebung an Anlagenbetreuer, Betriebsmechaniker	X		
Instruktion im Sonderbetrieb Wartung, Unterhalt an Anlagenbetreuer, Betriebsmechaniker, Betriebselektriker	X		
Keine direkte Berührung mit von unter Spannung stehenden Teilen	X		
Hauptschalter vorhanden	X		
Not-Aus vorhanden und getestet	X		
Prüfprotokoll nach EN 60204-1 durchgeführt und protokolliert	X		
Notwendige Warnschilder angebracht	X		
Überprüfung der Sicherheitsfunktionen (Fehlersimulation etc.)	X		

Lucerne University of
Applied Sciences and Arts
HOCHSCHULE
LUZERN
Engineering & Architecture

Industrieprojekt

WKWO

Wasserkraftwerk Optimierung

Autoren
Tobias Burch / Silvan Gisler

Betreuer
Prof. Dr. D. Salathé

30. Januar 2008

Inhaltsverzeichnis

1 Abbildungsverzeichnis 5

2 Abstract 7

3 Aufgabenstellung 8
3.1 Projektbeschrieb 8
3.2 Teilaufgabe 1 8
3.3 Teilaufgabe 2 8
3.4 Besonderes 8

4 Ausgangslage 9
4.1 Standort 9
4.2 Aus der Geschichte 10

5 Beschrieb der bestehenden Anlage 11
5.1 Hydraulikschema 11
5.2 Wasserfassung 12
5.2.1 Bauplan von 1984 12
5.2.2 Wassereinlauf 13
5.2.3 Entsander 13
5.2.4 Überlauf 13
5.2.5 Treibgutrechen 14
5.3 Druckleitung 15
5.3.1 Daten Druckleitung 15
5.4 Maschinenhaus 16
5.4.1 Übersichtsschema Maschinenhaus 16
5.4.2 Abschlussorgan 17
5.4.3 Druckmessung 17
5.4.4 Strahlablenker 18
5.4.5 Düse 18
5.4.6 Generator 19
5.4.7 Turbine 19
5.4.8 Steuerung 20

6 Messungen und Berechnungen 21
6.1 Bruttoleistung 21
6.1.1 Bruttohöhe 21
6.1.2 Durchflussmessung Druckleitung 22
6.1.2.1 Beschreibung 22
6.1.2.2 Daten 22
6.1.3 Leistungsberechnung 23
6.2 Leistung vor der Turbine 24

6.2.1 Druckmessung vor Turbine 24
6.2.1.1 Beschreibung 24
6.2.1.2 Leistungsberechnung 25
6.3 Messung der elektrischen Leistungsabgabe 26
6.3.1 Messmittel 26
6.3.2 Messaufbau 26
6.3.3 Probleme mit dem Messgerät 29
6.4 Drehzahl 29
6.5 Resultate der Messungen 30
6.5.1 Messung am Generator ohne Blindleistungs-Kompensation 30
6.5.2 Messung am Generator mit Blindleistungs-Kompensation 30
6.5.3 Durchfluss, Druck und Geschwindigkeit des Wassers 31
6.5.4 Leistung und Wirkungsgrad 31
6.6 Turbine 32
6.7 Generator 34
6.7.1 Berechnungen mit Schlupf = 0 34
6.7.2 Berechnungen mit Schlupf = 2 % 36
6.7.3 Berechnung mit Schlupf = 200 % 39
6.7.4 Wirkungsgradberechnung mit Drehmoment 39
6.8 Zusammenfassung der Verluste 40
6.9 Wirkungsgrade 41
6.9.1 Gesamtwirkungsgrad 41
6.9.2 Wirkungsgrad der Druckleitung 41
6.9.3 Wirkungsgrad von Generator mit Turbine 42
6.9.4 Wirkungsgrad Turbine 42
6.9.5 Wirkungsgrad Generator 42
6.10 Druck in Abhängigkeit der Wirkleistung 43
6.11 Durchfluss in Abhängigkeit der Wirkleistung 44

7 Bisherige Energieproduktion 45
7.1 Gesamtenergieproduktion 45
7.2 Energieabgabe an EWO 47
7.3 Ausfallstunden 49

8 Datenzusammenfassung 50

9 Stand der Technik 51
9.1 Druckleitung 51
9.2 Turbine 51
9.3 Generator 52

10 Beurteilung der Kraftwerksanlage 53
10.1 Druckleitung 53
10.2 Turbine 53

10.3 Generator 54
10.4 Gespräche mit Experten 54
10.4.1 Wasserbau und Turbine 54
10.4.2 Generator 54

11 Wirtschaftlichkeit 55

12 Empfehlungen fürs weitere Vorgehen 57

13 Schlussdiskussion 58

14 Quellenangaben 60
14.1 Bücher 60
14.2 Internet 60
14.3 Skripte 60
14.4 Zeitschrift 60

15 Anhang 61

1 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Standort der Anlage 9
Abbildung 2: Einzugsgebiet 9
Abbildung 3: Hydraulikschema 11
Abbildung 4: Bauplan Wasserfassung Seitenansicht 12
Abbildung 5: Bauplan Wasserfassung Grundriss 12
Abbildung 6: Wassereinlauf 13
Abbildung 7: Entsander 13
Abbildung 8: Überlauf 13
Abbildung 9: Teibgutrechen 14
Abbildung 10: Verlauf der Druckleitung 15
Abbildung 11: Maschinenhaus 16
Abbildung 12: Übersichtsschema Maschinenhaus 16
Abbildung 13: Schieber vor Maschinenhaus 17
Abbildung 14: Manometer und Druckschalter 17
Abbildung 15: Handrad und Strahlablenker 18
Abbildung 16: Düse mit Nadel 18
Abbildung 17: Peltonlaufrad, Strahlablenker, Mundstück und Nadel (v.l.n.r.) 18
Abbildung 18: Motor-Typenschild 19
Abbildung 19: Fabrikat Turbine 19
Abbildung 20: Steuerung 20
Abbildung 21: Verdrahtung Schaltschrank 20
Abbildung 22: Bestimmung der Bruttohöhe 21
Abbildung 23: Volumen des Entsanders 22
Abbildung 24: Kennlinie Drucktransmitter 24
Abbildung 25: Fluke 435 26
Abbildung 26: Anzeigen am Fluke 435 26
Abbildung 27: Messaufbau 26
Abbildung 28: Messaufbau ohne Berücksichtigung der Blindleistungskompensation 27
Abbildung 29: Messaufbau mit Berücksichtigung der Blindleistungskompensation 28
Abbildung 30: Peltonturbine (hier mit 2 Düsen) 32
Abbildung 31: Vollständiges T-Ersatzschaltbild der Asynchronmaschine 34
Abbildung 32: T-Ersatzschaltbild bei s=0 35
Abbildung 33: Vereinfachtes T-Ersatzschaltbild 36
Abbildung 34: T-Ersatzschaltbild bei s = 200 % 39
Abbildung 35: Typische Verluste in einem Wasserkraftwerk 40
Abbildung 36: Gesamtwirkungsgrad in Abhängigkeit der Wirkleistung 41
Abbildung 37: Wirkungsgrad der Druckleitung in Abhängigkeit der Wirkleistung 41
Abbildung 38: Wirkungsgrad von Turbine und Generator in Abhängigkeit der Wirkleistung 42
Abbildung 39: Druck in Abhängigkeit des Durchflusses 43

Abbildung 40: Durchfluss in Abhängigkeit der Wirkleistung 44
Abbildung 41: Blockschema Energiezähler 45
Abbildung 42: Energie-Mittelwerte der einzelnen Monate 46
Abbildung 43: Jahresproduktionen 46
Abbildung 44: Mittlere Energieabgabe der einzelnen Monate 47
Abbildung 45: Energieabgaben der einzelnen Jahre 48
Abbildung 46: Ausfallstunden der einzelnen Jahre 49
Abbildung 47: Wirkungsgrade verschiedener Turbinenarten 51
Abbildung 48: Wirkungsgrad verschiedener Asynchronmotor-Klassen 52
Abbildung 49: Wirkungsgrad einer 45 kW ASM in Abhängigkeit der Auslastung 52
Abbildung 50: Wahl des Turbinentyps 53

2 Abstract

Als Teil des 5. Semesters besuchen die Studierenden der Hochschule Luzern - Technik und Architektur das Modul Industrieprojekt. Zwecks dieses Moduls werden von der Hochschule verschiedene Projekte zur Verfügung gestellt. Da auch eigene Projektvorschläge eingebracht werden können, nutzten wir die Gelegenheit um dieses Projekt einzureichen. Nachdem wir erfahren haben, dass die Arbeit durchgeführt werden kann, war unser Industrieprojekt geboren. Es trägt den Namen „WKWO – Wasserkraftwerk Optimierung“.

Nach gründlichem Beschrieb des bestehenden Kraftwerks wurden diverse Messungen an der Anlage und Berechnungen von Komponenten durchgeführt. Die erhaltenen Resultate wurden mit Zahlen des heutigen Standes der Technik verglichen. Als weiteres wurde die bisherige Energieproduktion erfasst. Somit konnte die Anlage genau beurteilt und Verbesserungsvorschläge unter Berücksichtigung einer guten Wirtschaftlichkeit erarbeitet werden.

Der Bericht kommt zum Schluss, dass bei diversen Komponenten Verbesserungspotential vorhanden ist. Die eingesetzte Peltonturbine hat einen Wirkungsgrad von nur 74.5 %. Mit moderneren Turbinen könnte der Wirkungsgrad problemlos um 5 % erhöht werden, was einen direkten Anstieg der elektrischen Energieproduktion mit sich ziehen wird. Zudem sollte die eingesetzte Steuerung, welche sehr unübersichtlich gestaltet ist, auf dem Stand der heutigen Sicherheitsvorschriften erneuert oder gar ersetzt werden. Zur Verringerung der Ausfallstunden wird zudem empfohlen eine Pegelstandsregelung einzusetzen, was ebenfalls eine Steigerung der elektrischen Energieproduktion zur Folge haben wird.

Mit den empfohlenen Erneuerungen wird die Jahresproduktion um 12’045 kWh auf 186'382 kWh erhöht. Dies entspricht einer Steigerung von 6.9 %.

3 Aufgabenstellung

3.1 Projektbeschrieb

Ein bestehendes Kleinwasserkraftwerk, welches seit 1985 in Wilen im Kanton Obwalden in Betrieb ist, soll bezüglich Druckleitung, Turbine und Generator auf dessen Wirkungsgrad untersucht werden. Aufbauend auf den Ergebnissen baut der zweite Projektteil auf. Dieser beinhaltet die Projektierung von Verbesserungsvorschlägen und ein allfälliger Kraftwerkumbau.

3.2 Teilaufgabe 1

Nach Analyse der bestehenden Kraftwerksanlage soll der Wirkungsgrad der einzelnen Komponenten durch verschiedene Messungen und Berechnungen ermittelt werden. Es ist zu untersuchen ob mit dem Einsatz von moderneren technischen Komponenten ein besserer Wirkungsgrad erreicht werden kann. Da die Anlage ziemlich alte Komponenten enthält, wird Verbesserungspotential vermutet.

3.3 Teilaufgabe 2

Anhand der erfassten Informationen sollen Verbesserungsvorschläge erarbeitet und die Wirtschaftlichkeit eines allfälligen Kraftwerkumbaus bestimmt werden.

3.4 Besonderes

Aufbauend auf den gewonnenen Ergebnissen aus dem Industrieprojekt ist es durchaus denkbar, dass das Projekt in Form einer Bachelor Diplomarbeit weitergeführt wird. Diese würde dann die Detailplanung des allfälligen Kraftwerksumbaus und deren Realisation beinhalten.

4 Ausgangslage

4.1 Standort

Das zu untersuchende Kleinwasserkraftwerk liegt im Kanton Obwalden bei der Sägerei Gebrüder Robert und Josef Burch in 6062 Wilen (roter Kreis).

Abbildung 1: Standort der Anlage

Abbildung 2: Einzugsgebiet

Das Kraftwerk bezieht seine Energie aus dem Gerisbach, welcher in den Sarnersee fliesst. Der Gerisbach ist ein Wildbach der nach starken Regenfällen regelmässig Geröll mit sich schleppt. Das Einzugsgebiet des Bachs ist auf der Karte schwierig abzuschätzen, da oberhalb von Oberwilen im Bereich der Schwander Allmend viele Sümpfe vorhanden sind. Grundsätzlich kann gesagt werden, dass der Bach bisher immer eine ausreichende Wassermenge lieferte. Einschränkungen im Betrieb entstanden fast nie durch eine zu geringe Wassermenge im Bach, sondern nur durch leichte Verstopfungen an der Wasserfassung, welche auf Laub oder Vereisung in kalten Jahreszeiten zurückzuführen sind.
Eine Einschränkung der nutzbaren Wassermenge ist der Konzession nicht zu entnehmen.

4.2 Aus der Geschichte

Die Firma Burch erhielt im Jahre 1915 eine Konzession zur Nutzung des Wassers vom Gerisbach. Ursprünglich diente die Anlage zum direkten Antrieb der Sägerei- und Schreinereimaschinen. Die Anlage bestand unter anderem aus einer Peltonturbine mit einer Leistung von etwa 14 PS. Von 1956 bis 1980 wurde die Turbine nur noch für die Seilwinde des Holzeinzugs genutzt.

Da immer mehr alternative Energiequellen gefragt waren, beschlossen die Gebrüder Josef und Robert Burch im Jahr 1984 die Konzession zur Wassernutzung des Gerisbachs zu erneuern. Am 29. November 1985 wurde eine Occasion-Maschinengruppe in einem neu erstellten Maschinenhaus in Betrieb genommen. Bei der Erstellung ging man davon aus, dass die Abgabeleistung des Generators zwischen 16 und 17 kW liegen wird. Somit wurde ein 18 kW Asynchrongenerator der Gebrüder Meier AG aus Zürich installiert.

Doch während des Betriebs stellte sich heraus, dass die Anlage mehr als 18 kW liefert. Dadurch wurde der Generator überlastet und verursachte starke Lärmemissionen durch Vibrationen.

Im Jahre 1986 wurde die Druckleitung erneuert und um 60 m verlängert. Zudem wurde der 18 kW Generator durch einen 30 kW Asynchrongenerator ersetzt. Dieser ist bis heute in Betrieb.

5 Beschrieb der bestehenden Anlage

5.1 Hydraulikschema

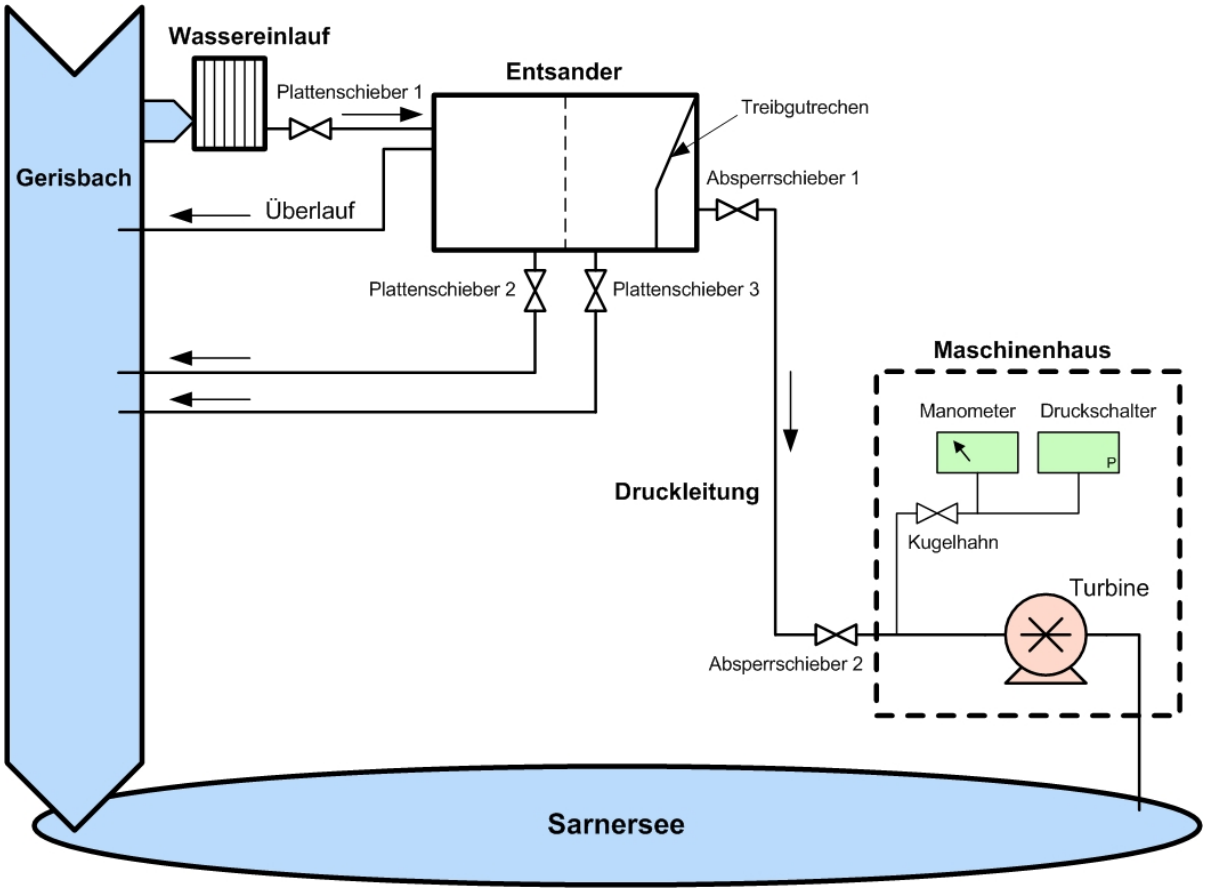


Abbildung 3: Hydraulikschema

5.2 Wasserfassung

5.2.1 Bauplan von 1984

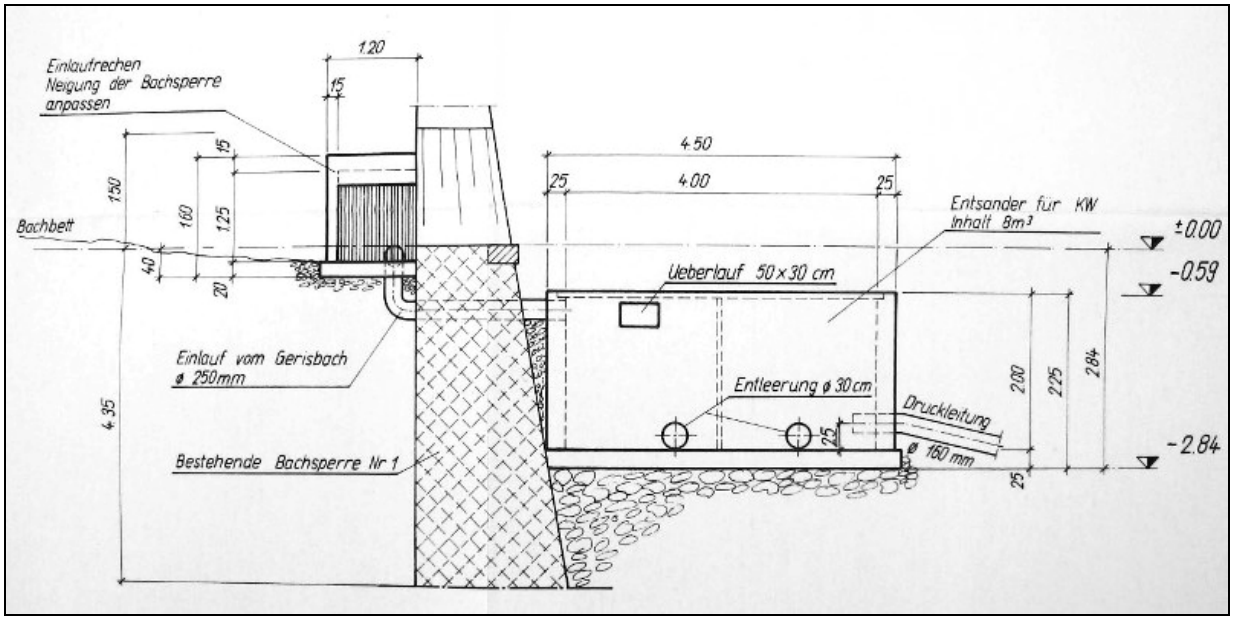


Abbildung 4: Bauplan Wasserfassung Seitenansicht

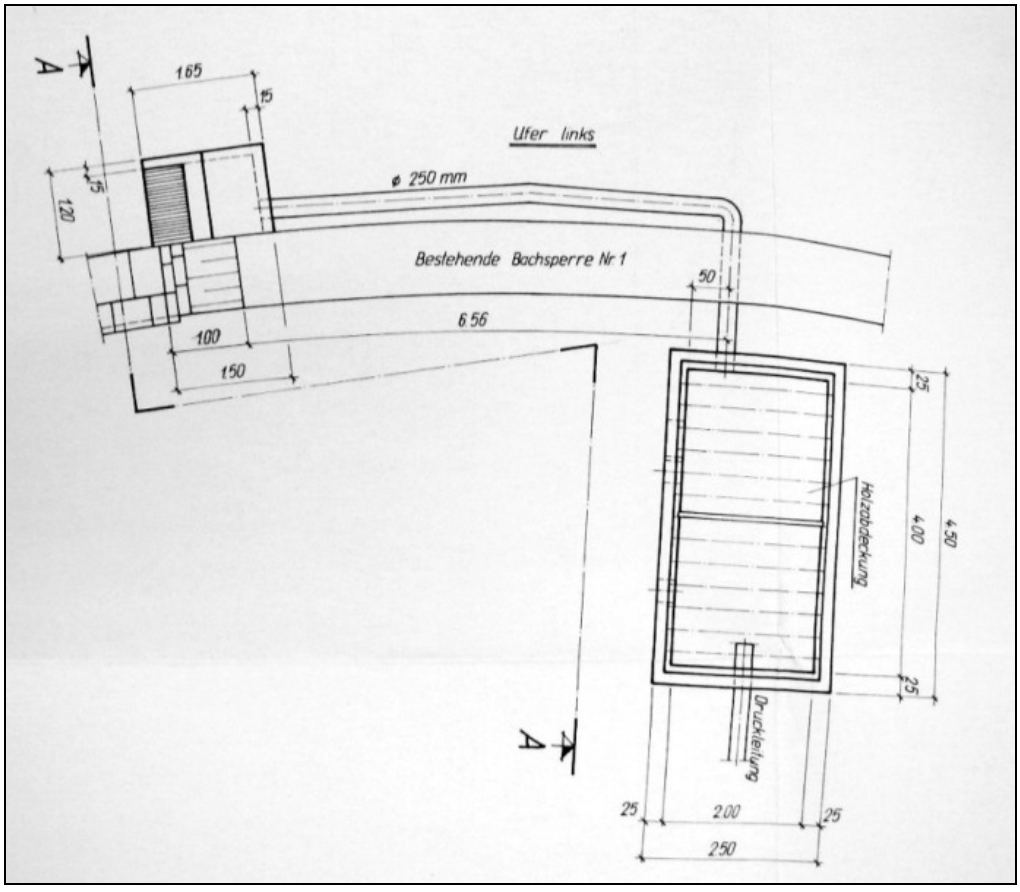


Abbildung 5: Bauplan Wasserfassung Grundriss

5.2.2 Wassereinlauf

Abbildung 6: Wassereinlauf

Vom Wassereinlauf wird das Wasser direkt in den Entsander geleitet. Hinter diesem ersten Treibgutrechen befindet sich ein Schieber mit welchem der Zufluss zum Entsander gestoppt werden kann.
Wenn die Turbine infolge von zu geringer Wassermenge nicht voll belastet werden konnte, so lag das bisher fast immer daran, dass dieser Rechen durch Laubansammlung oder Eisbildung teilweise verstopft war.

5.2.3 Entsander

Abbildung 7: Entsander

Der Entsander ist ein 4.5 m x 2 m x 2.25 m grosses Auffangbecken, welches in der Mitte durch eine durchlässige Bretterwand getrennt ist. Dadurch bleiben Sand und andere Gegenstände hauptsächlich im ersten Teil des Beckens und gelangen gar nicht bis zum zweiten Treibgutrechen, welcher sich unmittelbar vor dem Druckrohr befindet. Der zweite Treibgutrechen befindet sich unter der grünen Abdeckplane.

5.2.4 Überlauf

Abbildung 8: Überlauf

Der Überlauf besteht aus einem Holzkanal, welcher das überschüssige Wasser wieder in den Gerisbach zurückleitet.

5.2.5 Treibgutrechen

Abbildung 9: Teibgutrechen

Dieser zweite Treibgutrechen befindet sich unmittelbar vor der Druckleitung zur Turbine. Er kann durch Bedienen der Kurbel gesäubert werden. Der angesammelte Schmutz wird dadurch oberhalb des Entsanders über die Kante gestossen.

5.3 Druckleitung

Die Druckleitung verläuft relativ geradlinig vom Entsander zur Turbine. Sie hat eine Länge von 986 m. Die Wasserfassung befindet sich laut Konzession auf 605.65 m.ü.M. Aus dem Bauplan kann allerdings entnommen werden, dass sich der Wasserpegel im Entsander auf 604.6 m.ü.M. befindet. Die Turbine befindet sich laut Bauplänen auf 474.0 m.ü.M. Das ergibt einen nutzbaren Höhenunterschied von 130.6 m.

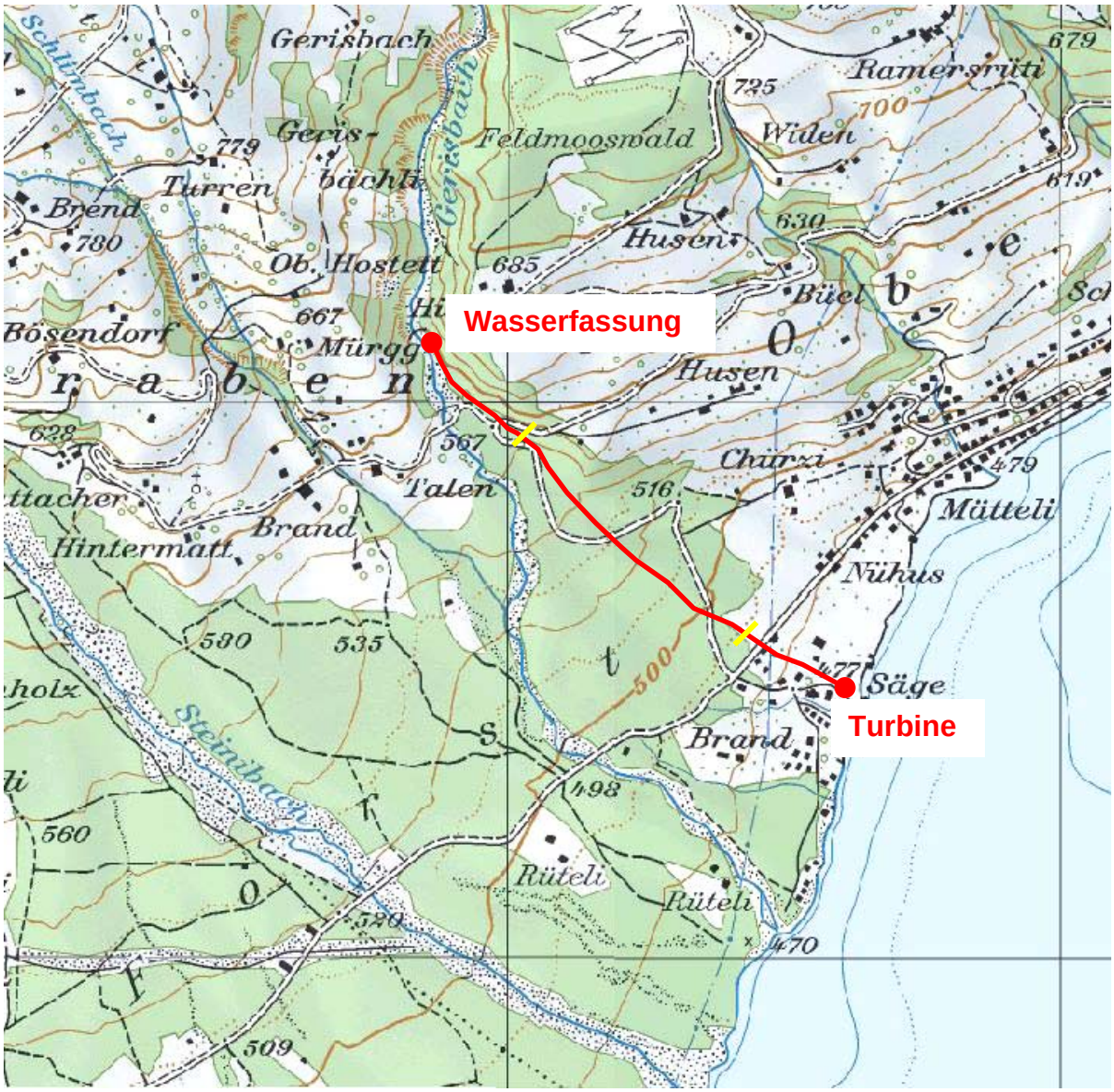


Abbildung 10: Verlauf der Druckleitung

5.3.1 Daten Druckleitung

- Ab Entsander: 226 m Gussrohr, d_{innen} = 160 mm
- Ab Gussrohr: 550 m Kunststoffrohr, d_{innen} = 195 mm
- Ab Kunststoffrohr bis Maschinenhaus: 210 m Kunststoffrohr, d_{innen} = 130 mm

5.4 Maschinenhaus

Die mechanischen Komponenten im Maschinenhaus wurden von den Besitzern der Anlage sehr gut gewartet und sind deshalb immer noch in einem sehr guten Zustand.

Abbildung 11: Maschinenhaus

5.4.1 Übersichtsschema Maschinenhaus

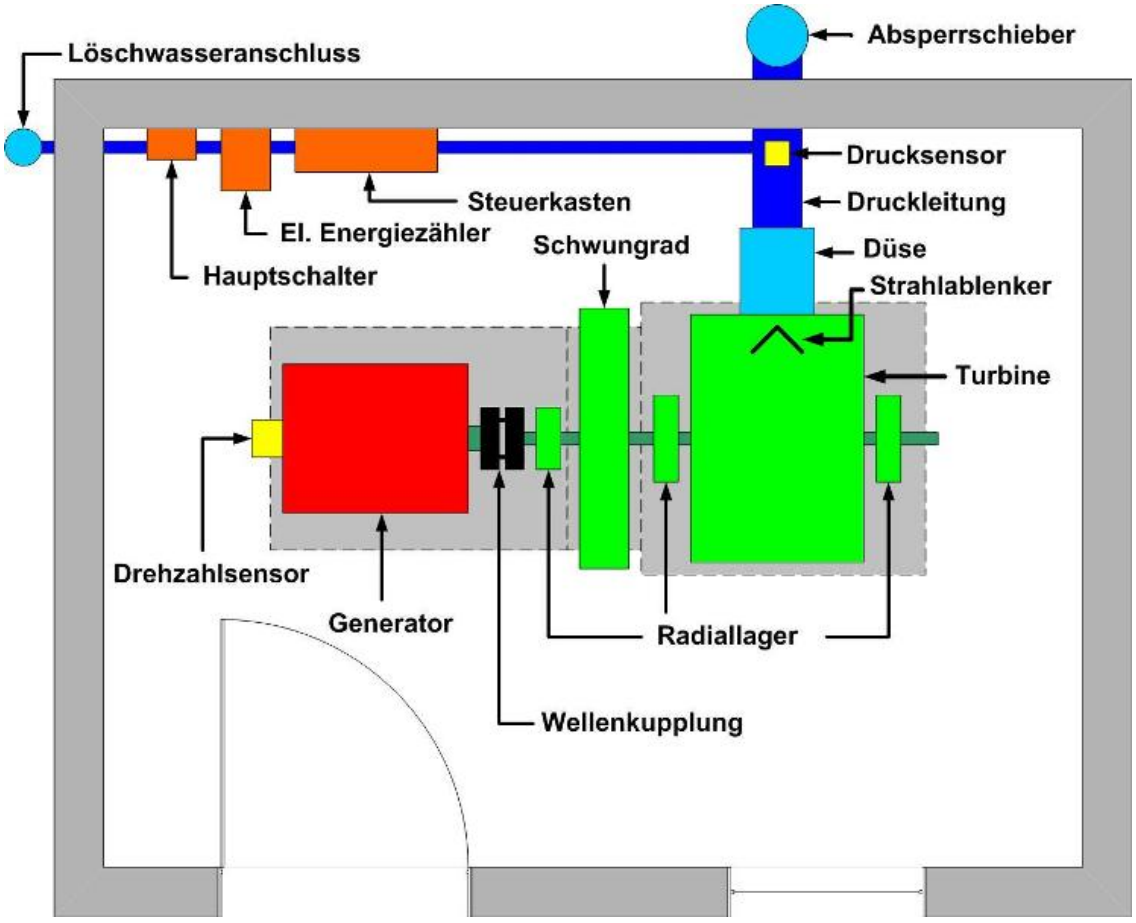


Abbildung 12: Übersichtsschema Maschinenhaus

5.4.2 Abschlussorgan

Abbildung 13: Schieber vor Maschinenhaus

Unmittelbar bevor die Druckleitung durch die Maschinenhauswand dringt, ist ein Absperrschieber montiert. Nach dem Absperrschieber befindet sich nur noch ein kurzes Rohrstück von ca. 1 m Länge, welches das Wasser zur Düse leitet.

5.4.3 Druckmessung

Abbildung 14: Manometer und Druckschalter

Zur Anzeige des aktuellen Drucks in der Druckleitung ist am Druckleitungsrohr ein Manometer angebracht. Zudem ist unmittelbar daneben ein Druckschalter angebracht. Dieser ist auf einen Schwellwert von ca. 10 bar eingestellt. Sobald nicht mehr genügend Wasser beim Wassereinlauf durchfliesst, senkt sich der Wasserspiegel im Entsander und anschliessend in der Druckleitung ab. Wird der eingestellte Schwellwert unterschritten, so wird der Generator vom Netz getrennt und der Strahlablenker in Arbeitstellung gebracht.

5.4.4 Strahlablenker

Abbildung 15: Handrad und Strahlablenker

Damit die Turbine bei einem Lastabfall nicht durchgeht, ist nach der Düse ein Strahlablenker angebracht. Dieser wird bei Normalbetrieb der Turbine von einem Elektromagneten festgehalten. Die Konstruktion respektive das Eigengewicht des Strahlablenkers ist so ausgelegt, dass dieser bei spannungslosem Elektromagneten durch die Erdanziehungskraft in Arbeitstellung bewegt wird. Nach einem Ausfall der Anlage muss der Strahlablenker von Hand wieder zum Elektromagneten angehoben werden, um die Anlage in Betrieb zu nehmen.

5.4.5 Düse

Abbildung 16: Düse mit Nadel

Die Nadel in der Düse kann mit einem Handrad, welches in Abbildung 15 zu sehen ist, verstellt werden.
Der aus der Düse austretende Wasserstrahl trifft auf das Laufrad der Turbine, sofern der Strahlablenker nicht in Arbeitsstellung ist. Im Falle eines Druckabfalls, Spannungsausfalls oder Unstimmigkeit bei der Drehzahl wird der Elektromagnet ausgeschaltet. Der Strahlablenker fällt in Arbeitsstellung und lenkt den Wasserstrahl vom Peltonrad weg.

Abbildung 17: Peltonlaufrad, Strahlablenker, Mundstück und Nadel (v.l.n.r.)

5.4.6 Generator

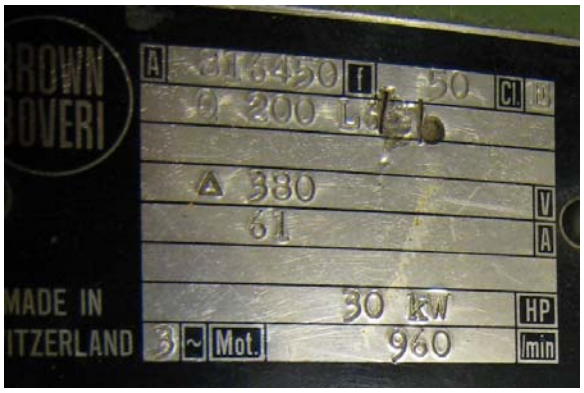


Abbildung 18: Motor-Typenschild

Der auf der Anlage montierte Generator ist laut Typenschild als Asynchronmotor spezifiziert. Er hat 3 Polpaare und eine Nennleistung von 30 kW. Dieser Motor wird als Generator betrieben. Die Drehzahl der Welle wird mittels eines an der Generatorwelle angebrachten Tachogenerators erfasst. Das Baujahr des Generators ist nicht Bekannt.

Daten der Asynchronmaschine:

Hersteller:	Brown Boveri
Typ:	Q 200 L6
Nennfrequenz:	50 Hz
Nennspannung:	380 V verkettet
Nennstrom:	61 A
Nennleistung:	30 kW
Nenndrehzahl:	960 U/min

5.4.7 Turbine

Abbildung 19: Fabrikat Turbine

Das Laufrad der Turbine ist beidseitig mit freistehenden Gleitlagerlagerböcken gelagert. Zur Abstützung des Schwungrades ist zusätzlich ein Kegelrollenlager montiert. Die Wellenverbindung zwischen Generator und Turbine erfolgt mittels einer Flanschkupplung.

Die Turbine wurde von der Firma Theodor Bell & Cie. gefertigt. Leider sind keine Spezifikationsangaben bezüglich der Turbine vorhanden. Unter dem Turbinenradgehäuse befindet sich ein Peltonrad mit Durchmesser 430 mm.

Damit sich kurzzeitige Lastschwankungen nicht zu stark auf die Drehzahl der Turbinenwelle auswirken, ist auf der Welle ein Schwungrad montiert.

Das Baujahr der Turbine ist nicht genau bekannt. Nach Schätzungen der Betreiber der Anlage etwa um 1920.

5.4.8 Steuerung

Abbildung 20: Steuerung

Abbildung 21: Verdrahtung Schaltschrank

Seit der Installation der Kraftwerksanlage in Wilen, mussten an der Steuerung nur geringfügige Änderungen vorgenommen werden. Jedoch war der Leistungskreis der Anlage im Schaltschrank von Anfang an zu schwach ausgelegt. Die einzelnen Leiter erwärmten sich zu stark und mussten deshalb durch Leiter mit grösserem Querschnitt ersetzt werden. Die Anzeigeinstrumente sind zum Teil nicht mehr angeschlossen oder defekt.
Links vom Schaltschrank befindet sich ein elektrischer Energiezähler mit integrierter Leistungsanzeige.

Um die Anlage ganz vom elektrischen Versorgungsnetz zu trennen ist ein Hauptschalter angebracht (ganz links in Abbildung 20).
Auf der rechten Seite des Schaltschranks befinden sich zwei Dreiphasenkondensatoren. Diese sind montiert um die vom Asynchrongenerator verursachte Blindleistung zu kompensieren.

Vom installierten Schaltschrank existierte anfänglich kein Elektroschema. Es sind auch keine Betriebmittelkennzeichnungen angebracht. Die Verdrahtung ist sehr unübersichtlich ausgeführt.
Damit die Anlage vollständig dokumentiert ist, wurde ein Elektroschema erstellt, welches im Anhang beigelegt ist.

6 Messungen und Berechnungen

Anschliessend werden die Messungen beschrieben, welche an der Anlage durchgeführt wurden. Alle Messungen sind bei sechs verschiedenen Ausgangs-Wirkleistungen durchgeführt worden: bei 4'000 W, 10'000 W, 15'000 W, 17'500 W, 20'000 W und bei Volllast, also 21'200 W.
Alle Berechnungen erfolgten mittels Microsoft Excel. Die Resultate der Messungen sind in Kapitel 6.5 in Tabellen aufgelistet. Wichtige Resultate sind in Kapitel 6.9 grafisch dargestellt.

6.1 Bruttoleistung

In der Bruttoleistung sind keinerlei Verluste der Anlage berücksichtigt. Sie gibt an, wie viel Leistung die Anlage liefern könnte, wenn alle Bestandteile ideal wären und somit keine Verluste verursachen würden.

6.1.1 Bruttohöhe

In der Konzession sind für die Höhe der Turbine 474.0 m.ü.M. und für die Höhe der Wasserfassung 605.65 m.ü.M. angegeben. Aus den erhaltenen Bauplänen können allerdings genauere Angaben gewonnen werden:

h1 = 474.0 m.ü.M. (Höhe der Turbine)
h2 = 604.6 m.ü.M. (Höhe des Wasserspiegels im Entsander)

Das ergibt eine Bruttohöhe von:

$$h_{Br} = h2 - h1 = 604.6\,m - 474\,m = 130.6\,m$$

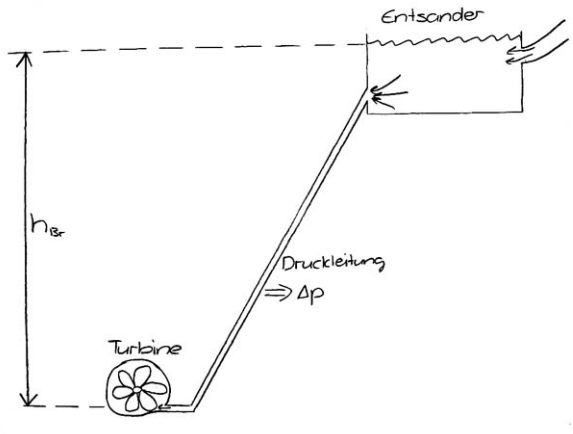


Abbildung 22: Bestimmung der Bruttohöhe

6.1.2 Durchflussmessung Druckleitung

6.1.2.1 Beschreibung

Als erstes wird die Höhendifferenz vom Wasserspiegel im Entsander zur Oberkante des Beckens gemessen. Anschliessend wird der Schieber in der Zuleitung zum Entsander geschlossen. Nach Ablauf der Zeit t wird die Höhendifferenz nochmals gemessen. Da der Schieber allerdings nicht ganz abdichtet, muss das immer noch in den Entsander einfliessende Wasser ebenfalls berücksichtigt werden. So kann anschliessend berechnet werden, welches Wasservolumen während der Zeit t durch die Druckleitung fliesst. Damit kann auf den Volumenstrom in m^3/s oder l/s geschlossen werden.

6.1.2.2 Daten

a	=	4.54 m	Länge des Entsanders
b	=	2.02 m	Breite des Entsanders
h1	=	0.23 m	Wasserhöhe mit offenem Schieber
h2			Wasserhöhe nach der Zeit t
V_Z			Volumen, welches bei geschlossenem Schieber noch in den Entsander fliesst
t			Messzeit Schieber geschlossen

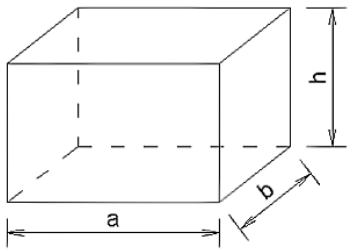


Abbildung 23: Volumen des Entsanders

$$\Delta h = h2 - h1$$

Draus folgt ein Volumen von:

$$V = a \cdot b \cdot \Delta h + V_Z$$

Mit der Zeit t kann nun der Volumenstrom Q berechnet werden:

$$Q = \frac{V}{t} = \frac{a \cdot b \cdot \Delta h + V_Z}{t}$$

6.1.3 Leistungsberechnung

Die Formel zur Berechnung der Brutto-Energie (potentielle Energie) lautet:

$$E_{Brutto} = m \cdot g \cdot h_{Br}$$

Leistung ist Energie pro Zeit. Deshalb kann anstelle der Masse m der Massenstrom mit der Einheit kg/s eingesetzt werden. Dies ergibt folgende Formel:

$$P_{Brutto} = \dot{m} \cdot g \cdot h_{Br} \qquad \text{mit: } \dot{m} = Q \cdot \rho$$

Das Wasser ist auch in warmen Jahreszeiten ziemlich kalt, so dass es idealisiert als 4 °C angenommen werden kann. Die Dichte ρ beträgt somit 1000 kg/m^3.
Daraus folgt:

$$P_{Brutto} = Q \cdot \rho \cdot g \cdot h_{Br} = \frac{V}{t} \cdot \rho \cdot g \cdot h_{Br} = \frac{a \cdot b \cdot \Delta h + V_{Kessel}}{t} \cdot \rho \cdot g \cdot h_{Br}$$

6.2 Leistung vor der Turbine

Wenn die Leistung vor der Turbine bekannt ist, so kann anschliessend berechnet werden, wie gross der Leistungsverlust in der Druckleitung ist. Somit kann auch der Wirkungsgrad der Druckleitung bestimmt werden.

6.2.1 Druckmessung vor Turbine

6.2.1.1 Beschreibung

Der Entsander und die Druckleitung werden vollkommen entleert. Anschliessend kann neben dem bereits bestehenden Manometer ein präziserer Differenz-Drucksensor angebracht und ein digitales Anzeigegerät angeschlossen werden. Danach wird die Druckleitung wieder gefüllt. Am Druckmessgerät kann nun der statische Druck abgelesen werden.
Der Differenz-Drucksensor wird von der Hochschule Luzern – Technik und Architektur zur Verfügung gestellt und kalibriert.
Der Drucksensor misst die Differenz zwischen atmosphärischem Druck und dem Druck in der Druckleitung. Somit wird die für die Leistungsberechnung massgebende Grösse angezeigt. Der Drucksensor hat ein Ausgangsignal von 4 bis 20 mA, bei einem Messbereich von 0 bis 15 bar. Die Umrechnung von mA in bar erfolgt mit folgender Formel:

$$p_{DS} = (I_{DS} - 4\,mA) * \frac{15\,bar}{16\,mA}$$

Der Differenzdrucksensor wurde vor der Messung mit einer Versuchanordnung auf deren Funktion überprüft. Aus der folgenden Grafik ist ersichtlich, dass dieser einwandfrei gemäss Spezifikation funktioniert.

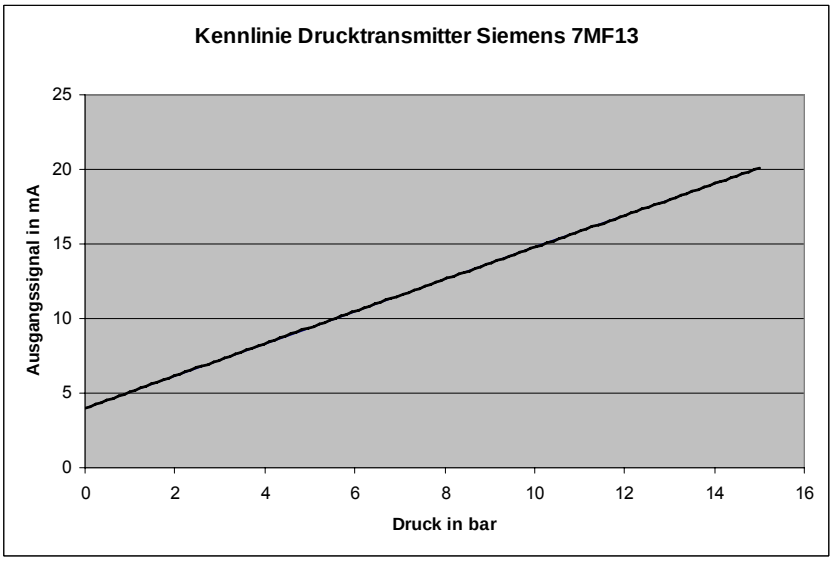


Abbildung 24: Kennlinie Drucktransmitter

6.2.1.2 Leistungsberechnung

Die gesamte Leistung die vor der Turbine zur Verfügung steht, berechnet sich laut Bernoulli mit:

$$P_{vor\_Turbine} = p \cdot Q + \dot{m} \cdot \frac{v^2}{2} \qquad \text{mit: } \dot{m} = Q \cdot \rho$$

Zur Berechnung der gesamten Leistung vor der Turbine benötigt man noch die Geschwindigkeit des Wassers an dieser Stelle im Rohr.

Das Rohr hat an der Messstelle einen Durchmesser von 18 cm. Daraus folgt ein Querschnitt von:

$$A = \left(\frac{0.18\,m}{2}\right)^2 \cdot \pi = 0.02545\,m^2 \qquad \text{und damit:} \qquad v = \frac{Q}{A} = \frac{Q}{0.02545\,m^2}$$

Somit kann die Leistung wie folgt berechnet werden:

$$P_{vor\_Turbine} = (I_{DS} - 4\,mA) \cdot \frac{15\,bar}{16\,mA} \cdot 10^5 \cdot Q + Q \cdot \rho \cdot \frac{\left(\frac{Q}{0.02545\,m^2}\right)^2}{2}$$

6.3 Messung der elektrischen Leistungsabgabe

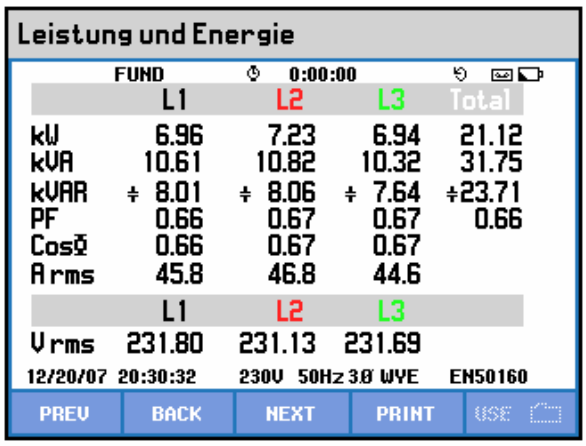
6.3.1 Messmittel

Die Hochschule Luzern – Technik und Architektur besitzt das mobile Leistungsmessgerät „Fluke 435 Power Quality Analyzer“ (Inventarnummer: 31 202). Dieses Messgerät wurde für Messungen auf der Anlage verwendet. Mit diesem Gerät kann unter anderem die Wirkleistung, Blindleistung, Scheinleistung und der Leistungsfaktor genau bestimmt werden. Zudem stellt es direkt die Phasenverschiebung zwischen Strom und Spannung in einem Zeigerdiagramm grafisch dar.

Abbildung 25: Fluke 435

Am Leistungsmessgerät Fluke 435 werden zur Strommessung drei Stromzangen vom Typ PR 430 angeschlossen (Inventarnummer: 11 541; 11 543; 11 544).

Unten sind zwei Abbildungen vom Display des Fluke 435 zu sehen.



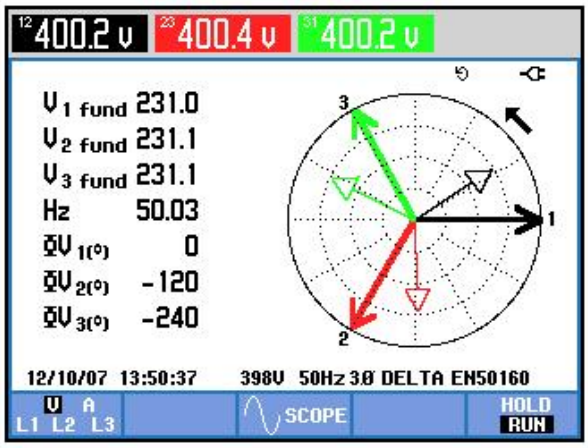


Abbildung 26: Anzeigen am Fluke 435

6.3.2 Messaufbau

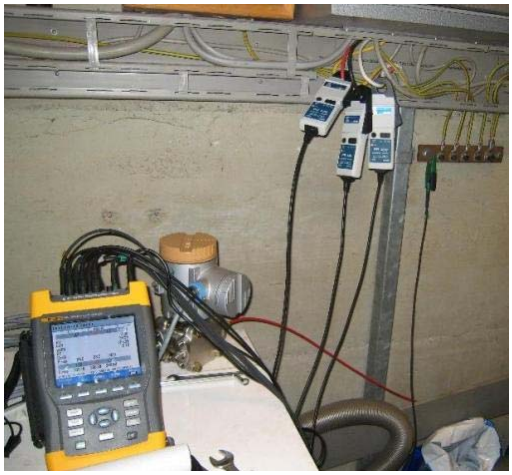


Abbildung 27: Messaufbau

Links ist ein Bild vom Messaufbau im Maschinenraum zu sehen. Die Messungen wurden bei den verschiedenen Ausgangs-Wirkleistungen zweimal durchgeführt. Dabei sind jeweils die Stromzangen so in den Stromkreis geschalten worden, dass die Wirkung der Blindleistungskompensations-Kondensatoren nicht berücksichtigt resp. berücksichtigt worden sind.

Die folgenden Messschemas gewähren einen guten Überblick, wie das Leistungsmessgerät jeweils in den Stromkreis geschalten wurde.

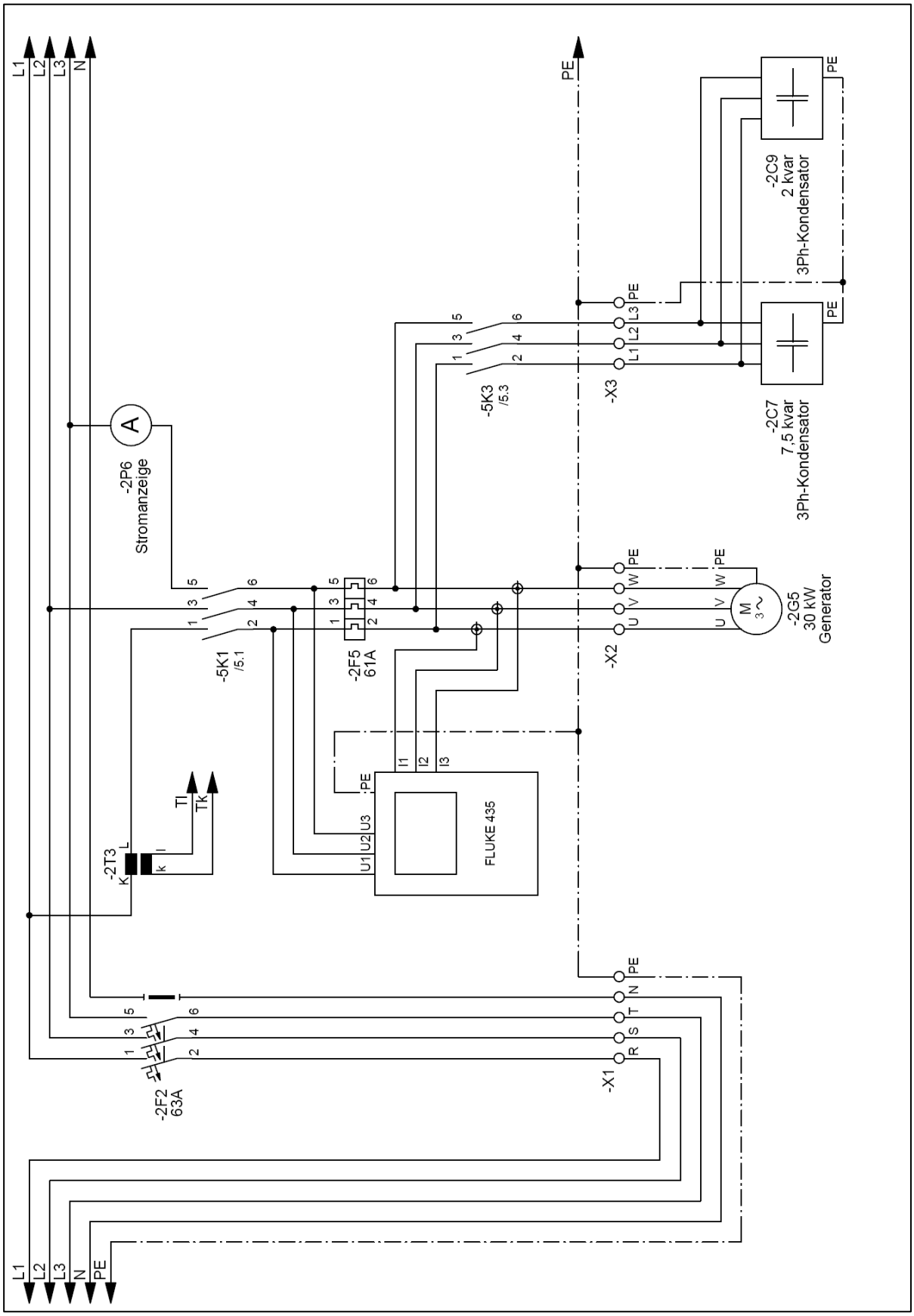


Abbildung 28: Messaufbau ohne Berücksichtigung der Blindleistungskompensation

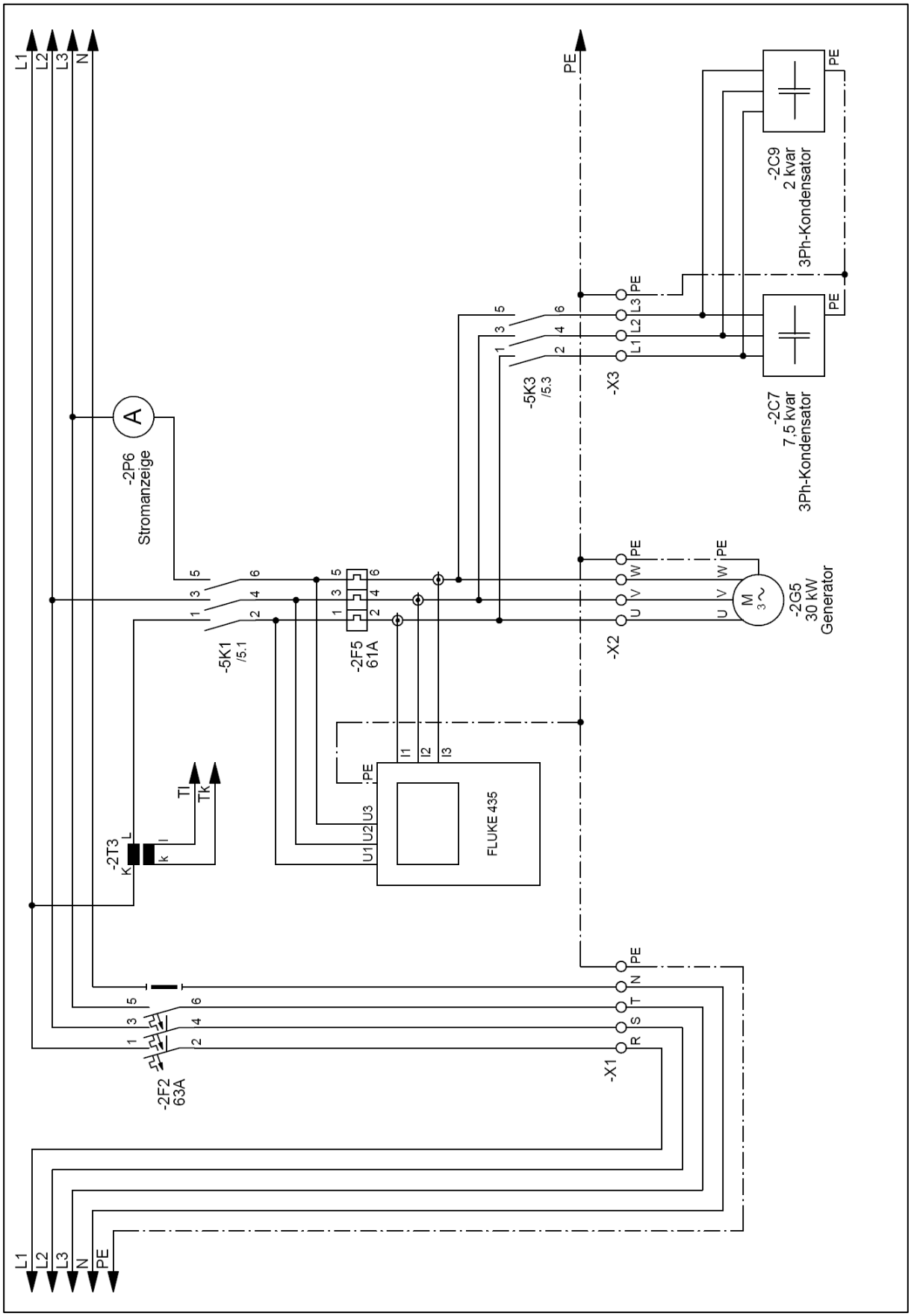


Abbildung 29: Messaufbau mit Berücksichtigung der Blindleistungskompensation

6.3.3 Probleme mit dem Messgerät

Während den Messungen ist uns aufgefallen, dass ein Teil der angezeigten Messwerte nicht stimmen kann. Die Scheinleistung stimmte nicht mit den Werten überein, welche aus dem angezeigten Strom und der Spannung berechnet werden konnten.
Nach diversen Abklärungen, unter anderem auch mit Fluke Schweiz, konnte schliesslich herausgefunden werden, dass die unkorrekten Anzeigen auf falsche Einstellungen am Messgerät zurückzuführen sind.
Der detaillierte Messbericht ist im Anhang „Messbericht Leistungsmessung mit Fluke 435" beigelegt. Damit zukünftig nicht die gleichen Probleme mit diesem Messgerät auftauchen, wurde eine kurze, selbstverfasste Bedienungsanleitung dem Messgerät beigelegt. Diese ist auch im Anhang „Kurzanleitung zu FLUKE 435 Power Quality Analyzer“ beigefügt.

6.4 Drehzahl

Zur Messung der Drehzahl wird von der Schule das Drehzahlmessgerät „Testo 470“ ausgeliehen. Dieses Messgerät erlaubt eine optische Drehzahlmessung. Ein Reflexionsklebstreifen wird auf das Schwungrad geklebt. So kann bei jeder Leistung die Drehzahl gemessen werden. Dazu muss mit dem optischen Sensor des Messgerätes auf den Klebstreifen gezielt werden.

6.5 Resultate der Messungen

6.5.1 Messung am Generator ohne Blindleistungs-Kompensation

Wirkleistung [W]	Spannung L_{12} [V]	Spannung L_{23} [V]	Spannung L_{31} [V]	Strom L_1 [A]	Strom L_2 [A]	Strom L_3 [A]
4'000	396.4	395.9	396.7	28.4	27.7	27.5
10'000	398.8	399.2	399.5	33.2	32.3	32.6
15'000	402.0	402.1	401.9	38.2	38.1	38.1
17'500	401.2	401.1	401.5	41.5	40.9	40.7
20'000	402.9	402.9	403.3	45.0	44.0	44.0
21'200	402.7	402.7	402.9	46.0	46.0	46.0

Wirkleistung [W]	Scheinleistung [VA]	Blindleistung [var]	Leistungs-Faktor	Drehzahl [U/min]
4'000	19'130	18'707	0.209	1'003
10'000	22'608	20'276	0.442	1'008
15'000	26'552	21'909	0.565	1'013
17'500	28'519	22'518	0.614	1'016
20'000	30'948	23'617	0.646	1'018
21'200	32'090	24'090	0.661	1'020

6.5.2 Messung am Generator mit Blindleistungs-Kompensation

Wirkleistung [W]	Spannung L_{12} [V]	Spannung L_{23} [V]	Spannung L_{31} [V]	Strom L_1 [A]	Strom L_2 [A]	Strom L_3 [A]
4'000	394.6	393.4	394.6	15.0	14.0	14.0
10'000	396.6	396.1	396.9	21.0	21.0	20.0
15'000	397.3	397.3	398.3	28.0	27.0	27.0
17'500	397.3	397.5	398.1	31.0	31.0	31.0
20'000	400.0	399.6	400.0	35.0	35.0	34.0
21'200	400.8	401.3	401.0	37.0	36.0	37.0

Wirkleistung [W]	Scheinleistung [VA]	Blindleistung [var]	Leistungs-faktor	Drehzahl [U/min]
4'000	9'786	8'932	0.409	1'003
10'000	14'194	10'073	0.705	1'008
15'000	18'825	11'375	0.797	1'013
17'500	21'350	12'231	0.820	1'016
20'000	24'010	13'284	0.833	1'018
21'200	25'469	14'115	0.832	1'020

6.5.3 Durchfluss, Druck und Geschwindigkeit des Wassers

Wirkleistung [W]	Entsander ∆h [m]	Messzeit für Abfluss [s]	Durchfluss [m3/s]	Durchfluss [kg/s], [l/s]	Druck vor Turbine [mA]	Druck vor Turbine [bar]	Geschw. vor Turbine [m/s]
4'000	0.075	300	0.00547	5.47	17.55	12.70	0.22
10'000	0.275	300	0.01156	11.56	17.35	12.52	0.45
15'000	0.365	240	0.01708	17.08	17.04	12.23	0.67
17'500	0.450	240	0.02031	20.31	16.80	12.00	0.80
20'000	0.555	240	0.02431	24.31	16.47	11.69	0.96
21'200	0.605	240	0.02621	26.21	16.29	11.52	1.03

6.5.4 Leistung und Wirkungsgrad

Wirkleistung [W]	Leistung vor Turbine [W]	Bruttoleistung [W]	Gesamt-wirkungsgrad	Wirkungsgrad Turbine + Generator	Wirkungsgrad Druckleitung
4'000	6'954	7'013	0.570	0.575	0.992
10'000	14'471	14'812	0.675	0.691	0.977
15'000	20'881	21'879	0.686	0.718	0.954
17'500	24'380	26'022	0.673	0.718	0.937
20'000	28'426	31'140	0.642	0.704	0.913
21'200	30'210	33'577	0.631	0.702	0.900

6.6 Turbine

Für die folgenden Berechnungen werden die gleichen Bezeichnungen genommen wie in Abbildung 30. Es ist aber zu bemerken, dass diese Abbildung eine Peltonturbine mit 2 Düsen zeigt, die untersuchte Anlage aber eine Turbine mit nur einer Düse hat.

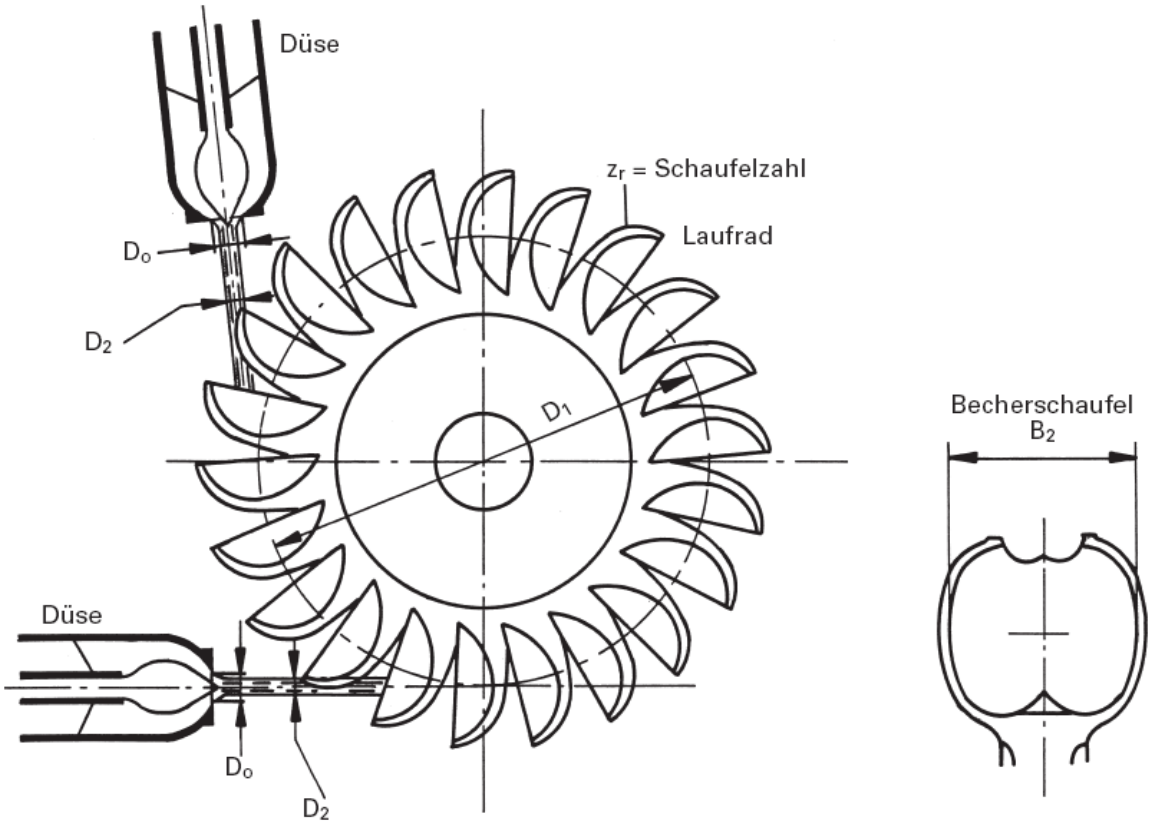


Abbildung 30: Peltonturbine (hier mit 2 Düsen)

Der Durchmesser des Wasserstrahls der auf die Becher der Turbine auftritt, berechnet sich wie folgt:

$$D_2 = \left(\frac{4}{\pi \cdot c} \cdot \frac{Q}{\sqrt{2 \cdot g \cdot H_N}} \right)^{\frac{1}{2}} \cong 0.545 \cdot \frac{Q^{1/2}}{H_N^{1/4}}$$

Die Nettohöhe bei Volllast kann aus dem gemessenen Druck bei Volllast berechnet werden:

$$H_N = \frac{p_{Vollast}}{\rho \cdot g} = \frac{11.52\,bar}{1000\,\frac{kg}{m^3} \cdot 9.81\,\frac{kg \cdot m}{s^2}} = 117.43\,m$$

Damit wird der Strahldurchmesser:

$$D_2 = 0.545 \cdot \frac{Q^{1/2}}{H_N^{1/4}} = 0.545 \cdot \frac{\left(0.02621 \frac{m^3}{s}\right)^{1/2}}{(117.43\,m)^{1/4}} = 0.0268\,m = 2.68\,cm$$

Der Bezugsdurchmesser, Wirkungsdurchmesser oder auch Strahlkreisdurchmesser D_1 berechnet sich mit:

$$D_1 = \frac{2}{\omega} \cdot u_1 \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot H_N} = 37...41 \cdot \frac{\sqrt{H_N}}{n}$$

- u_1 liegt zwischen 0.44 und 0.48
- n ist die Drehzahl des Rotors bzw. der Turbine

Wird für u_1 0.48 eingesetzt so ergibt sich folgender Strahlkreisdurchmesser:

$$D_1 = \frac{2}{\omega} \cdot u_1 \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot H_N} = \frac{2}{n \cdot 2 \cdot \pi \cdot \frac{1}{60}} \cdot 0.48 \cdot \sqrt{2 \cdot 9.81 \frac{m}{s^2} \cdot 117.43\,m} = 0.4314\,m = 43.14\,cm$$

Dieses Ergebnis stimmt ziemlich genau mit der Angabe auf einem Notizblatt überein, welches bei der Anlage gefunden wurde.

Die Becherbreite der Turbine ist auf diesem Notizblatt mit B_2 = 8.5 cm angegeben.

Mit diesen Werten können dann wichtige Erfahrungswerte berechnet werden:

$$\frac{Strahldurchmesser}{Strahlkreisdurchmesser} = \frac{2.68\,cm}{43.14\,cm} = 0.0621$$

Sollte laut dem Buch „Kleinwasserkraftwerke – Wasserturbinen“ zwischen 1/7 und 1/30 liegen. Ist somit in Ordnung.

$$\frac{Strahlkreisdurchmesser}{Becherbreite} = \frac{43.14\,cm}{8.5\,cm} = 5.07$$

Sollte laut Herr Prof. Dr. Thomas Staubli vom „CC Fluidmechanik & Hydromaschinen“ etwa 3 ergeben. Ist also leicht daneben.

6.7 Generator

In den folgenden Berechnungen sollen alle Komponenten des Asynchron-Generators bestimmt werden.

Das vollständige einphasige T-Ersatzschaltbild der Asynchronmaschine sieht wie folgt aus:

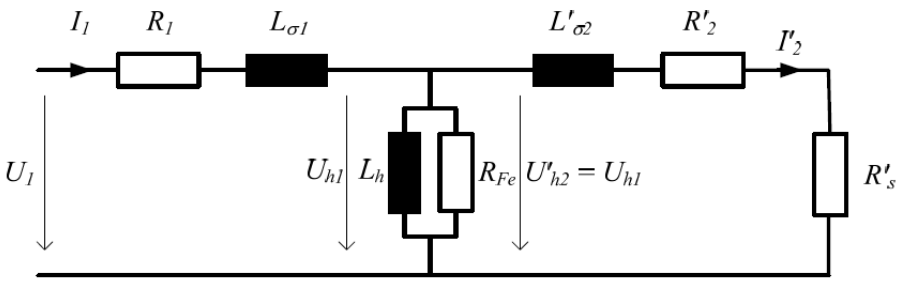


Abbildung 31: Vollständiges T-Ersatzschaltbild der Asynchronmaschine

R_1	Statorwiderstand (verursacht Verluste)
$L_{\sigma 1}$	Stator-Streuinduktivität
L_h	Hauptinduktivität
R_{FE}	Eisenwiderstand (verursacht Verluste)
$L_{\sigma 2}$	Rotor-Streuinduktivität
R_2'	Rotorwiderstand, auf Statorseite transformiert (verursacht Verluste)
R_s'	In diesem Widerstand entsteht die mechanische Leistung

Der Widerstand R1 kann mit einem einfachen Ohmmeter gemessen werden. Da man sich bei $L_{\sigma 1}$ und bei L_h einen Kurzschluss denken kann, wird so nur noch R_1 angezeigt.

$$R_1 = 0.33\Omega$$

6.7.1 Berechnungen mit Schlupf = 0

Als nächstes wird bei der Düse genau so viel Wasser auf die Turbine gelassen, dass der Schlupf s = 0 wird. Der Generator arbeitet somit im Leerlauf.

Dadurch wird:

$$R_s' = R_2' \cdot \frac{1-s}{s} \rightarrow \infty$$

Das Ersatzschaltbild sieht dann folgendermassen aus:

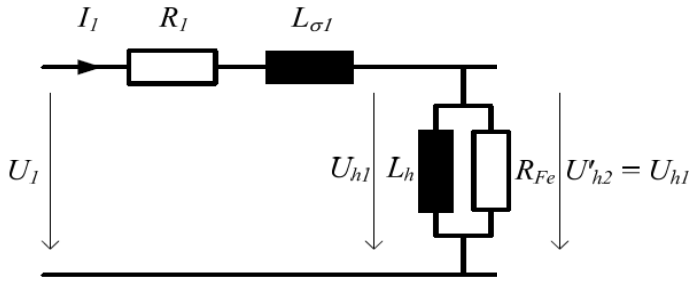


Abbildung 32: T-Ersatzschaltbild bei s=0

In diesem Betriebspunkt wird eine Leistung P = 410 W, ein Strom I_1 = 14.4 A und eine Spannung U_1 = 391 V gemessen. Die Wirkleistung P kann nur in den Widerständen R_1 und R_{FE} entstehen. Die Leistung in R_1 beträgt somit:

$$P_{R1} = R_1 \cdot I_1^2 \cdot 3 = 0.33\,\Omega \cdot (14.4\,A)^2 \cdot 3 = 205.3\,W\,.$$

Es wird mit 3 multipliziert, weil das Ganze 3-phasig ist.

Die gesamte restliche Wirkleistung muss in R_{FE} entstehen:

$$\underline{P_{RFE} = P - P_{R1} = 410\,W - 205.3\,W = 204.7\,W}$$

Die Leistung über dem Eisenwiderstand ist nur sehr gering vom Betriebspunkt der Maschine abhängig. Sie bleibt also mehr oder weniger konstant.
Zur Vereinfachung kann der Widerstand R_{FE} in Zukunft weggelassen werden, da er keinen besonders grossen Einfluss auf den Rest der Schaltung hat.

Die Induktivität L_1 berechnet sich folgendermassen:

$$L_1 = L_{\sigma 1} + L_h = \frac{U_{L1}}{\omega \cdot I_1} = \frac{\sqrt{U_1^2 - R_1^2 \cdot I_1^2}}{\omega \cdot I_1} = \frac{\sqrt{(391V)^2 - (0.33\,\Omega \cdot 14.4\,A)^2}}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot 14.4\,A} = 86.4\,mH$$

Die Hauptinduktivität wird als viel grösser angenommen als die Streuinduktivitäten. Der berechnete Wert für L_1 stimmt ziemlich genau mit Werten überein, welche für Labormaschinen im Modul „Elektrische Antriebstechnik“ ermittelt werden konnten. Deshalb wird auch die Verteilung von Haupt- und Streuinduktivität als etwa gleich wie bei diesen Maschinen angenommen:

$\underline{L_{\sigma 1} = 5.4\,mH}$ und $\underline{L_h = 81\,mH}$ (Werte geschätzt)

Zur Vereinfachung wird oft angenommen, dass die Rotor-Streuinduktivität gleich der Stator-Streuinduktivität ist:

$\underline{L_{\sigma 2} = 5.4\,mH}$ (Wert geschätzt)

6.7.2 Berechnungen mit Schlupf = 2 %

Als nächstes wird die Düse wieder voll geöffnet, damit am Ausgang des Generators wieder die 21.2 kW gemessen werden können. In diesem Betriebspunkt beträgt die Drehzahl 1020 U/min. Somit wird der Schlupf s = 2 %.

Zur weiteren Vereinfachung werden R_2' und R_s' zu einem Widerstand R_2/s zusammengefasst. Daraus ergibt sich das folgende Ersatzschaltbild:

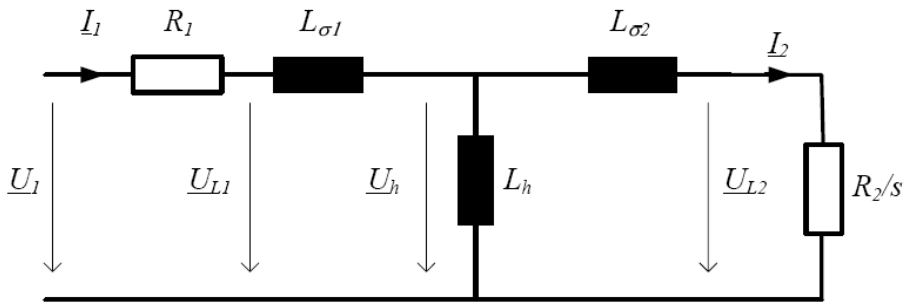


Abbildung 33: Vereinfachtes T-Ersatzschaltbild

Mit:

R_1 = 0.33 Ω
$L_{\sigma 1}$ = 5.4 mH
L_h = 81 mH
P_{RFE} = 204.7 W
$L_{\sigma 2}$ = 5.4 mH

Wird von links in die Schaltung geschaut, sieht man einen Widerstand Z, dessen Betrag wie folgt berechnet werden kann:

$$\left|\underline{Z}\right| = \frac{\left|\underline{U}\right|}{\left|\underline{I}\right|} = \frac{403\,V}{26.56\,A} = 15.174\,\Omega$$

Und:

$$\left|\underline{Z}\right| = \left| R_1 + j\cdot\omega\cdot L_{\sigma 1} + \frac{j\cdot\omega\cdot L_h\cdot\left(j\cdot\omega\cdot L_{\sigma 2} + R_2/s\right)}{j\cdot\omega\cdot L_h + j\cdot\omega\cdot L_{\sigma 2} + R_2/s}\right|$$

Diese beiden Gleichungen können gleichgesetzt und nach R_2/s aufgelöst werden. Somit erhält man:

$$R_2 / s = 17.444\,\Omega$$

Damit wird:

$$\underline{R_2' = (R_2 / s) \cdot s = 0.349\,\Omega}$$

Und

$$\underline{R_s' = R_2' \cdot \frac{1-s}{s} = 17.095\,\Omega}$$

Da nun alle Komponenten der T-Ersatzschaltung bekannt sind, kann Z auch komplex bestimmt werden:

$$\underline{Z} = R_1 + j \cdot \omega \cdot L_{\sigma 1} + \frac{j \cdot \omega \cdot L_h \cdot \left(j \cdot \omega \cdot L_{\sigma 2} + R_2 / s\right)}{j \cdot \omega \cdot L_h + j \cdot \omega \cdot L_{\sigma 2} + R_2 / s} = (15.175 \angle 42.5°)\,\Omega$$

Damit kann auch der Strom I_1 komplex bestimmt werden:

$$\underline{I_1} = \frac{\underline{U_1}}{\underline{Z}} = \frac{403V}{(15.175 \angle 42.5°)\,\Omega} = (26.56 \angle -42.5°)\,A$$

Der Strom I_2 berechnet sich mit:

$$\underline{I_2} = \frac{\underline{U_h}}{\sqrt{(\omega \cdot L_{\sigma 2})^2 + (R_2 / s)^2}} = \frac{\underline{U_1} - R_1 \cdot \underline{I_1} - j \cdot \omega \cdot L_{\sigma 1} \cdot \underline{I_1}}{\sqrt{(\omega \cdot L_{\sigma 2})^2 + (R_2 / s)^2}} = (20.945 \angle -4.26°)\,A$$

Mit diesen Angaben kann nun die mechanische Leistung, welche im Widerstand R_s entsteht, berechnet werden. Diese muss grösser sein als die elektrische Leistung welche der Generator abgibt:

$$\underline{P_{mech} = 3 \cdot R_s' \cdot \left|\underline{I_2}\right|^2 = 3 \cdot 17.095\,\Omega \cdot 20.945\,A = 22.5\,kW}$$

Die Verluste entstehen in den Widerständen R_1, R_2 und R_{FE}. Die Verlustleistung lässt sich somit folgendermassen berechnen:

$$P_v = \left(R_1 \cdot \left| \underline{I_1} \right|^2 + R_2' \cdot \left| \underline{I_2} \right|^2 \right) \cdot 3 + P_{RFE} = 1.36\,kW$$

Die mechanische Leistung minus die Verlustleistung müsste nun die elektrische Leistung ergeben, welche dem Generator entnommen werden kann:

$$P_{el} = P_{mech} - P_V = 22.5\,kW - 1.36\,kW = 21.14\,kW$$

Die mit dem Leistungsmessgerät Fluke 435 gemessene Wirkleistung beträgt 21.2 kW. Daraus kann geschlossen werden, dass die Berechnungen recht genau sind.

Der Wirkungsgrad des Generators beträgt in diesem Arbeitspunkt folglich:

$$\eta = \frac{P_{el}}{P_{mech}} = \frac{21.14\,kW}{22.5\,kW} = 0.939 = 93.9\%$$

Alle berechneten Komponenten der Asynchronmaschine gelten für Dreieckschaltung des Generators. Als weiteres wurden L_h und $L_{\sigma 1}$ geschätzt und $L_{\sigma 1} = L_{\sigma 2}$ angenommen.

6.7.3 Berechnung mit Schlupf = 200 %

Für diese Messung ist die Statorwicklung des Generators mit einer viel kleineren Spannung als die Nennspannung zu beaufschlagen. Zudem ist die Drehrichtung des Drehfeldes in die entgegengesetzte Laufrichtung der Turbine zu setzen. Die Turbine wird anschliessend mit Nenndrehzahl und normaler Drehrichtung betrieben.
Da der Widerstand R_2/s in diesem Betriebspunkt einen sehr viel kleineren Wert aufweist, kann die Hauptinduktivität L_h praktisch vernachlässigt werden. Die sich in diesem Betriebspunkt einstellende Blindleistung wird somit nur von den Streuinduktivitäten $L_{\sigma 1}$ und $L_{\sigma 2}$ verursacht. Wie gross die einzelnen Streuinduktivitäten sind, kann allerdings auch mit dieser Messung nicht gesagt werden, da die genaue Aufteilung der Blindleistung zwischen $L_{\sigma 1}$ und $L_{\sigma 2}$ nicht bekannt ist.

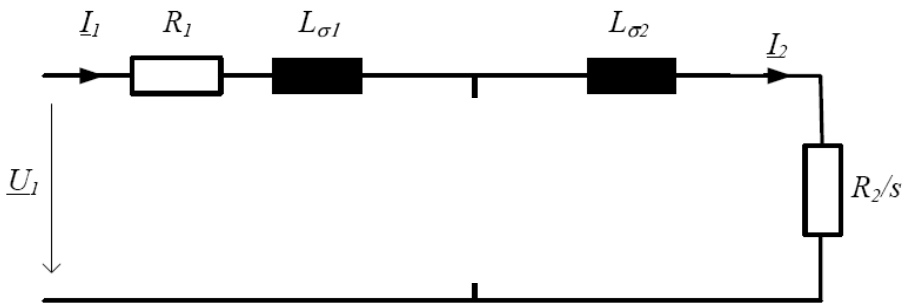


Abbildung 34: T-Ersatzschaltbild bei s = 200 %

Die Messung am Kraftwerksgenerator mit Schlupf s = 200 % wurde nicht durchgeführt. Es ist zu erwarten, dass die bereits berechneten Werte der einzelnen Komponenten sich durch die neuen Erkenntnisse nicht gross verändern. Zudem kann damit nur gesagt werden, wie gross beide Streuinduktivitäten zusammen sind, aber nicht wie gross jede einzelne ist.

6.7.4 Wirkungsgradberechnung mit Drehmoment

Um den Wirkungsgrad ganz genau bestimmen zu können, muss das auf den Generator übertragene Drehmoment und die Drehzahl gemessen werden:

$$\eta_G = \frac{P_{el}}{P_{mech}} = \frac{P_{el}}{M \cdot \omega}$$

Um einen Drehmomentsensor einzubauen, müssen relativ grosse Anpassungen an der Welle zwischen Schwungrad und Generator gemacht werden. Zudem benötigt ein Drehmomentsensor ungefähr einen halben Meter Platz. Der Generator muss also verschoben werden, was einen sehr grossen Aufwand bedeutet.
Auf eine Drehmoment-Messung wurde deshalb verzichtet.

6.8 Zusammenfassung der Verluste

Die folgende Grafik zeigt typische Verluste auf, welche in einem Wasserkraftwerk auftreten. Die Transformatorenverluste können bei der untersuchten Anlage weggelassen werden, da der Generator nicht über einen Transformator, sondern direkt am Netz angeschlossen ist.

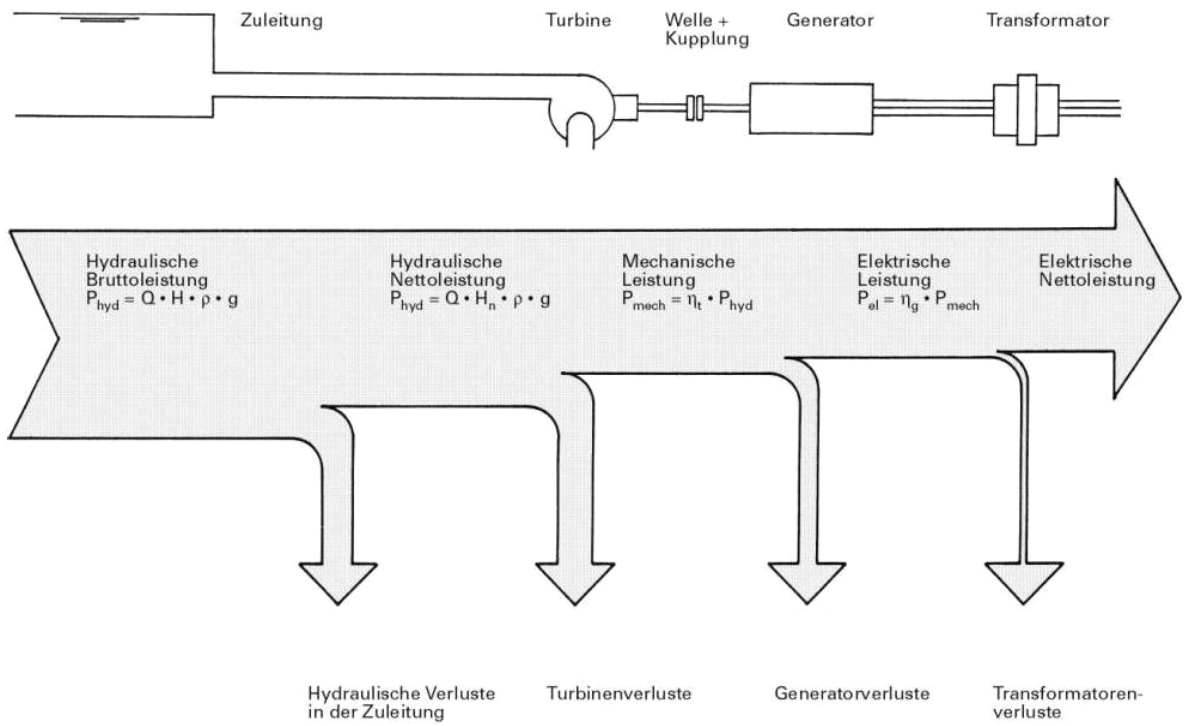


Abbildung 35: Typische Verluste in einem Wasserkraftwerk

Bei voll geöffneter Düse hat die Anlage folgende Leistungen:

Hydraulische Bruttoleistung P_{hyd_Br}:	33'577 W
Hydraulische Nettoleistung (Leistung vor der Turbine) P_{hyd_N}:	30'210 W
Mechanische Leistung P_{mech}:	22'500 W
Elektrische Leistung P_{el}:	21'200 W

Daraus folgen nachstehende Verluste:

Hydraulische Verluste P_{V_hyd}:	3'367 W
Turbinenverluste P_{V_T}:	7'710 W
Generatorverluste P_{V_G}:	1'300 W
Gesamtverluste P_{V_Ges}:	12'377 W

6.9 Wirkungsgrade

6.9.1 Gesamtwirkungsgrad

Die Anlage hat ihren maximalen Wirkungsgrad bei etwa 15 kW Wirkleistung am Generator. Er beträgt in diesem Punkt ungefähr 69 %. Bei 21.2 kW Beträgt der Wirkungsgrad noch 63 %.

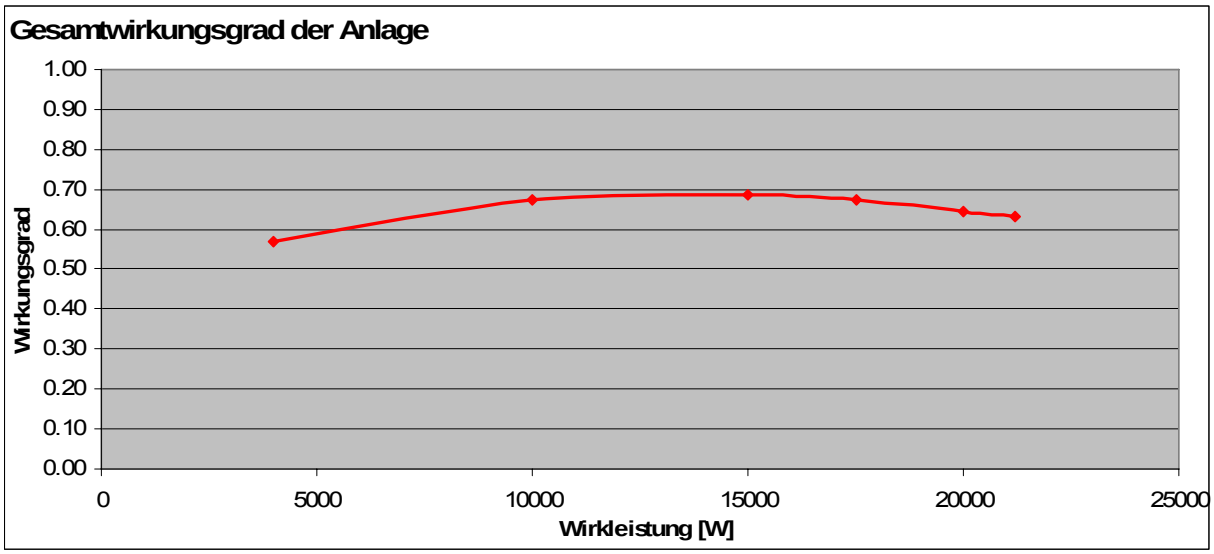


Abbildung 36: Gesamtwirkungsgrad in Abhängigkeit der Wirkleistung

6.9.2 Wirkungsgrad der Druckleitung

Der Wirkungsgrad der Druckleitung nimmt mit steigender Wirkleistung immer mehr ab. Bei geringerem Durchfluss bewegt er sich immer mehr gegen 100 % zu, da die Reibungsverluste im Rohr immer kleiner werden.

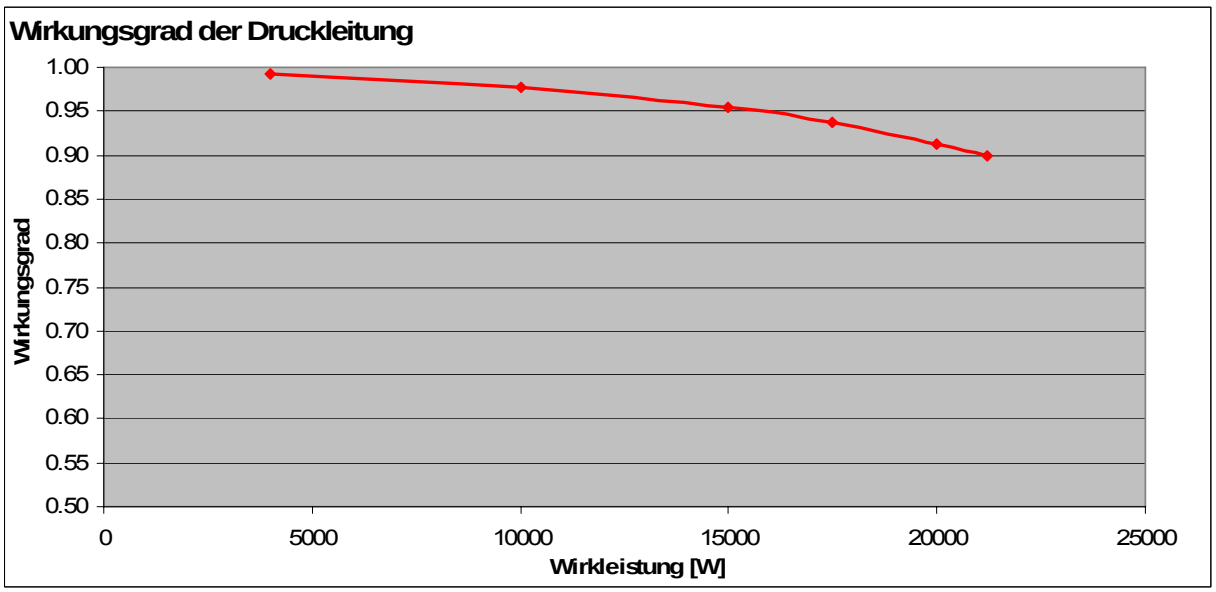


Abbildung 37: Wirkungsgrad der Druckleitung in Abhängigkeit der Wirkleistung

6.9.3 Wirkungsgrad von Generator mit Turbine

Der maximale Wirkungsgrad vom Generator zusammen mit der Turbine beträgt etwa 72 %. Dieser wird bei einer Wirkleistung von etwa 17 kW erreicht.

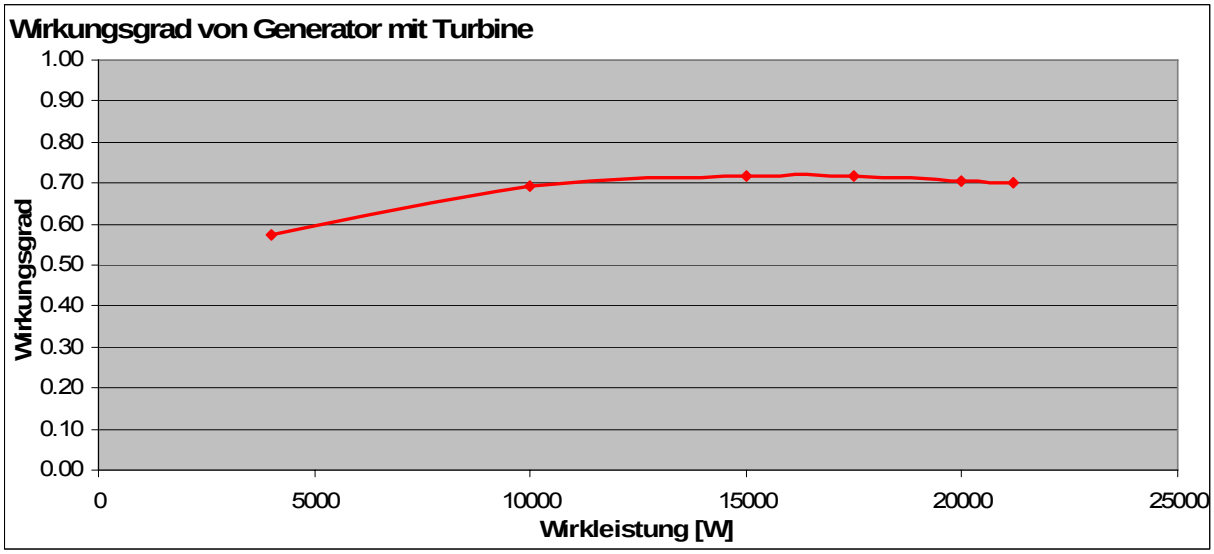


Abbildung 38: Wirkungsgrad von Turbine und Generator in Abhängigkeit der Wirkleistung

6.9.4 Wirkungsgrad Turbine

Für den Wirkungsgrad der Turbine konnte kein separater Kurvenverlauf aufgezeichnet werden. Er kann aber aus den gemachten Berechnungen für die voll geöffnete Düse, also für den Normal-Betriebsfall bestimmt werden:

$$\eta_{Turbine} = \frac{P_{mech}}{P_{T\_ein}} = \frac{22'500\,W}{30'210\,W} = 0.745 = 74.5\,\%$$

6.9.5 Wirkungsgrad Generator

Auch für den Wirkungsgrad des Generators konnte kein separater Kurvenverlauf aufgezeichnet werden.
Der Wirkungsgrad wurde aber für die voll geöffnete Düse, also für den Normal-Betriebsfall, bereits berechnet:

$$\eta_{Generator} = 0.939 = 93.9\,\%$$

6.10 Druck in Abhängigkeit der Wirkleistung

Deutlich zu erkennen ist in der unteren Abbildung, wie der Druck quadratisch mit dem Durchfluss abnimmt. Der Druckverlust in der Leitung berechnet sich mit:

$$\Delta p = \frac{\rho \cdot v^2}{2} \cdot \left(\lambda \cdot \frac{l}{d} \cdot \Sigma \zeta \right)$$

Mit: ρ = Dichte in kg/m^3
v = mittlere Fliessgeschwindigkeit in m/s
λ = Rohrreibungszahl, dimensionslos
l = Länge der Rohrleitung in m
d = Durchmesser der Rohrleitungin m
ζ = Widerstandszahl, dimensionslos

Wobei die Geschwindigkeit v linear mit dem Durchfluss zunimmt:

$$v = \frac{Q}{A}$$

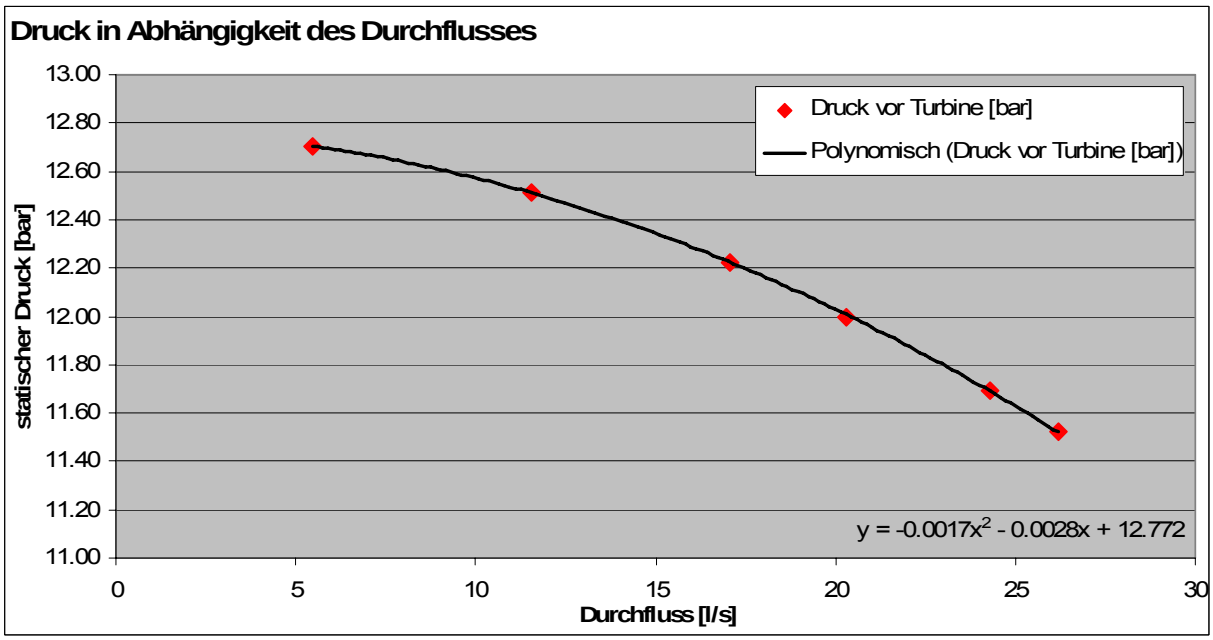


Abbildung 39: Druck in Abhängigkeit des Durchflusses

6.11 Durchfluss in Abhängigkeit der Wirkleistung

Theoretisch müsste die Kurve mit steigender Leistung eher abflachen, da sich die Leistung nach Bernoulli folgendermassen verhält:

$$P = p \cdot Q + \dot{m} \cdot \frac{v^2}{2} = p \cdot Q + Q \cdot \rho \cdot \frac{\left(\frac{Q}{A}\right)^2}{2}$$

Die Leistung aus der Geschwindigkeit müsste also quadratisch mit der Fliessgeschwindigkeit zunehmen, wenn der statische Druck konstant bleiben würde.

In unserem Fall nimmt allerdings der statische Druck in der Druckleitung wegen Reibungsverlusten viel stärker ab, als der Anteil der Fliessgeschwindigkeit zunimmt. Denn im Vergleich zum Druckanteil, macht der Geschwindigkeitsanteil nur sehr wenig aus. Deshalb braucht es bei höheren Leistungen noch viel mehr Wasser, um ein wenig mehr Leistung am Ausgang des Generators zu erhalten.

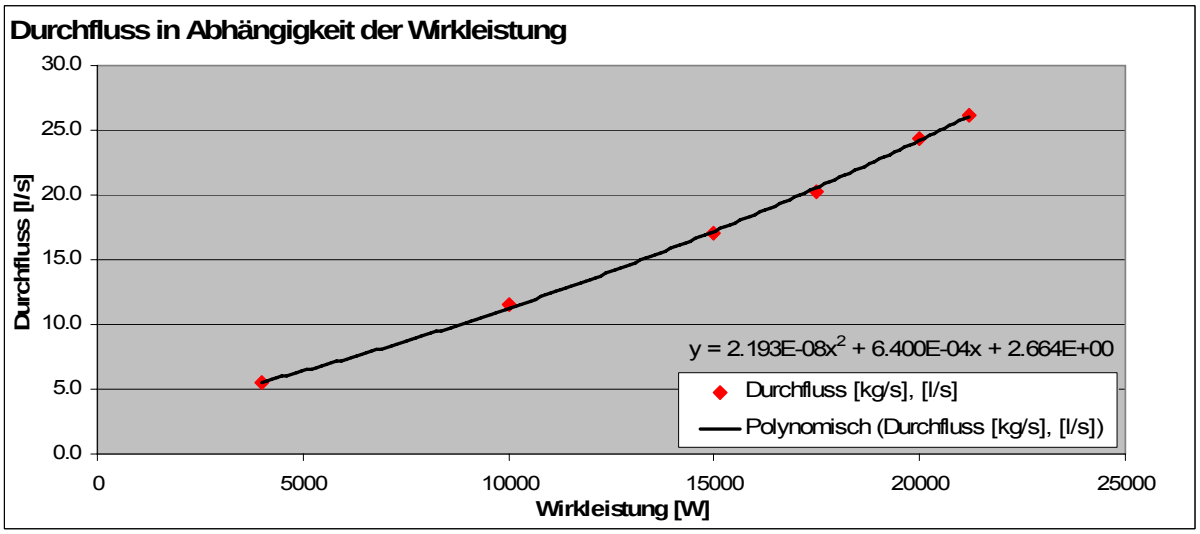


Abbildung 40: Durchfluss in Abhängigkeit der Wirkleistung

7 Bisherige Energieproduktion

Zur Messung der Energie durch das Elektrizitätswerk Obwalden (EWO) und die Betreiber sind insgesamt drei Zähler installiert. Diese sind gemäss folgendem Blockschaltbild montiert:

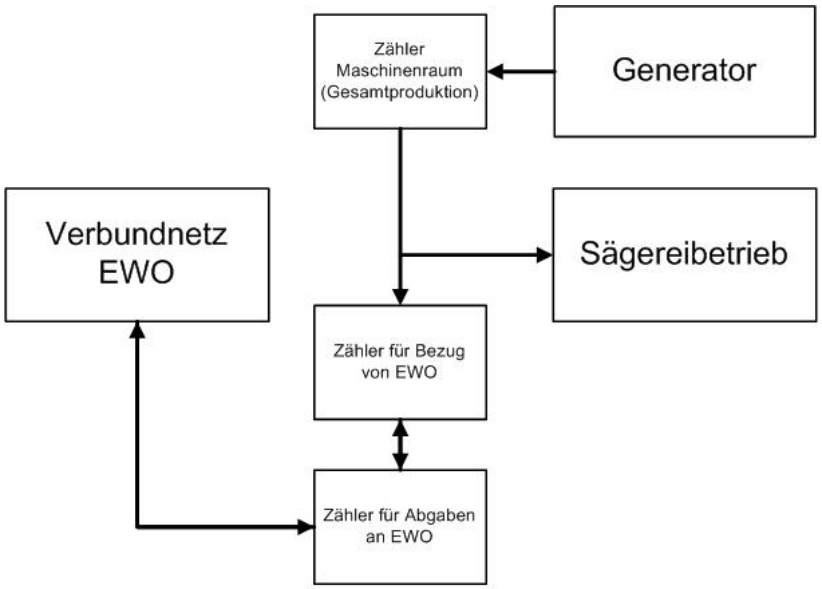


Abbildung 41: Blockschema Energiezähler

Der Zähler im Maschinenraum gehört den Eigentümern der Anlage und dient nur zur eigenen Kontrolle. Er wird nie vom EWO abgelesen. Die anderen beiden Zähler gehören dem EWO und messen die abgegebene und die bezogene Energie.

7.1 Gesamtenergieproduktion

Aus den vergangenen Jahren konnten Daten zur bisherigen Energieproduktion beschafft werden. Diese wurden digitalisiert und als Grafiken dargestellt. Die Zahlen sind in kWh angegeben:

Jahr	Jan	Feb	Mrz	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Total	Ausf. h
2001	15'140	14'210	15'050	15'150	15'440	14'380	15'430	15'400	14'900	15'450	13'400	14'450	**178'400**	206
2002	14'500	14'310	14'920	15'090	14'940	14'330	15'410	15'100	14'310	13'970	13'390	15'510	**175'780**	341
2003	14'070	12'880	15'200	14'870	14'950	14'400	15'290	12'280	13'130	14'360	14'190	14'300	**169'920**	366
2004	13'690	14'180	15'210	14'670	14'950	13'700	15'110	14'660	14'590	14'800	14'020	14'720	**174'300**	367
2005	14'630	12'540	14'690	14'920	15'280	14'630	15'150	13'145	14'445	14'380	14'550	14'350	**172'710**	380
2006	14'670	12'700	14'680	14'710	15'040	14'400	14'920	14'910	14'680	14'970	14'400	14'830	**174'910**	267
2007	14'040	13'710	14'890	14'690	15'010	14'590	14'400	13'700	14'520				**129'550**	274
Mittel-wert	**14'391**	**13'504**	**14'949**	**14'871**	**15'087**	**14'347**	**15'101**	**14'171**	**14'368**	**14'655**	**13'992**	**14'693**	174'336	**314.4**

Diese Werte ergeben folgende mittlere Energieproduktion der letzten sieben Jahre, auf die einzelnen Monate aufgeteilt:

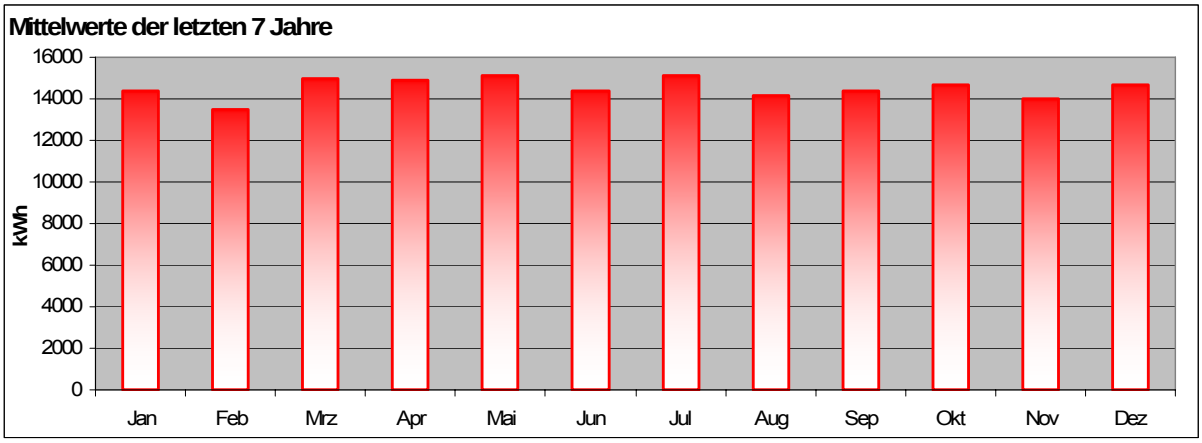


Abbildung 42: Energie-Mittelwerte der einzelnen Monate

Das Tief im Februar ist vor allem auf Vereisung am Wassereinlauf zurückzuführen, jenes im November auf Verstopfung des Einlaufs durch Laub.

Die folgende Grafik zeigt die einzelnen Jahresproduktionen auf:

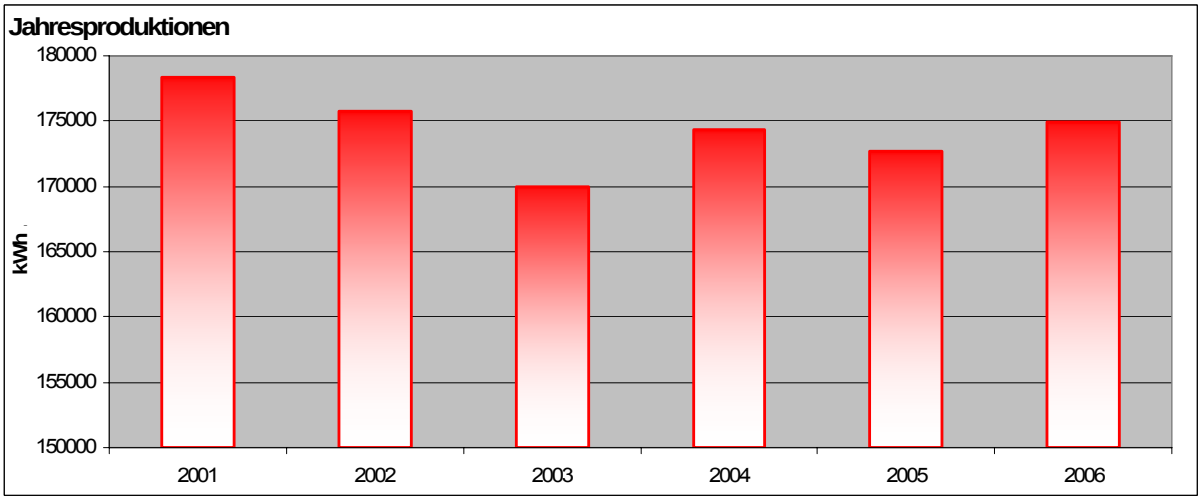


Abbildung 43: Jahresproduktionen

Die Tiefs in den Jahren 2003 und 2005 sind auf extreme Wetterverhältnisse zurückzuführen. Im Jahr 2003 war im Sommer extreme Dürre und 2005 musste wegen Hochwasser der Betrieb der Anlage eine Zeit lang eingestellt werden.

Die Mittlere Jahres-Energieproduktion beträgt **174'337 kWh** respektive **174.3 MWh**.

7.2 Energieabgabe an EWO

Von der produzierten Energie wird zwar alles ins Netz des EWO eingespeist, aber die Sägerei Gebrüder Robert und Josef Burch benötigt selbst auch noch elektrische Energie um ihre Maschinen zu betreiben. Für die Differenz erhält die Sägerei 16 Rp/kWh vom EWO.

Die Zahlen sind in kWh angegeben:

Jahr	Jan	Feb	Mrz	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Total
2001	7'740	5'120	5'900	6'040	6'420	6'920	6'960	8'860	6'720	5'320	4'600	5'720	**76'320**
2002	4'660	5'140	6'020	5'960	6'440	6'080	6'560	8'860	6'580	6'160	5'800	7'140	**75'400**
2003	5'540	5'080	7'240	6'920	5'760	7'260	7'920	8'200	7'580	6'480	6'040	6'620	**80'640**
2004	6'320	6'080	6'660	7'820	7'940	7'420	8'440	10'280	7'300	6'500	5'880	6'960	**87'600**
2005	7'720	6'260	7'420	7'560	9'220	8'300	8'680	10'570	13'310	10'438	6'396	7'282	**103'156**
2006	8'108	5'910	6'798	7'292	8'132	8'706	10'112	11'490	8'918	7'344	7'164	7'278	**97'252**
2007	7'216	6'416	7'396	7'566	7'740	8'466	7'658	9'362	7'928				**69'748**
Mittel-wert	**6'758**	**5'715**	**6'776**	**7'023**	**7'379**	**7'593**	**8'047**	**9'660**	**8'334**	**7'040**	**5'980**	**6'833**	**86'728**

Diese Werte ergeben folgende mittlere Energieabgabe der letzten sieben Jahre, auf die einzelnen Monate aufgeteilt:

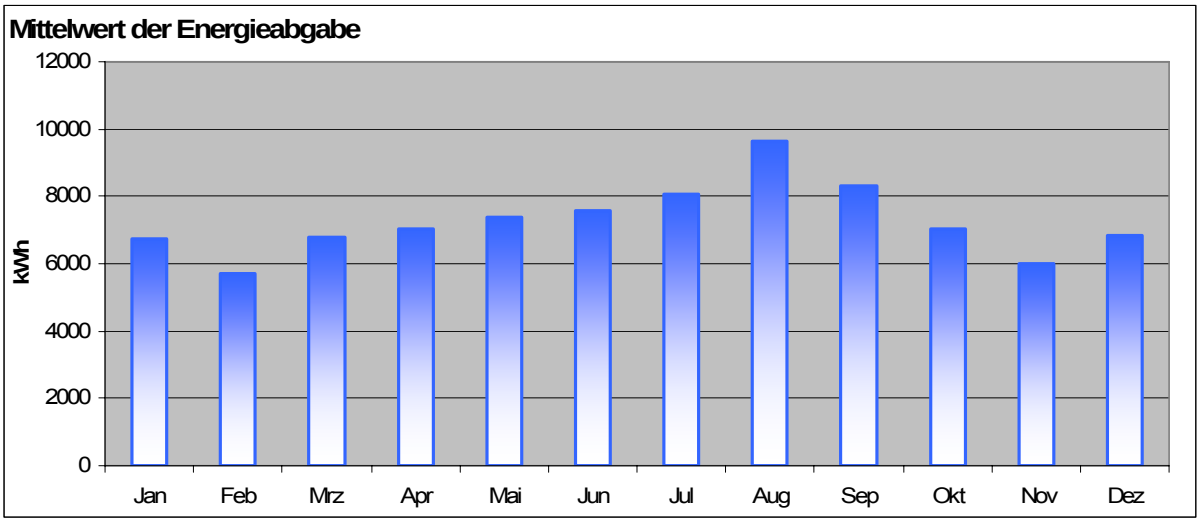


Abbildung 44: Mittlere Energieabgabe der einzelnen Monate

Die hohe Menge an abgegebener Energie im August ist auf Betriebsferien der Sägerei zurückzuführen.

Über die letzten 6 Jahre hinweg konnte jeweils die folgende Menge an elektrischer Energie an das EWO abgegeben werden:

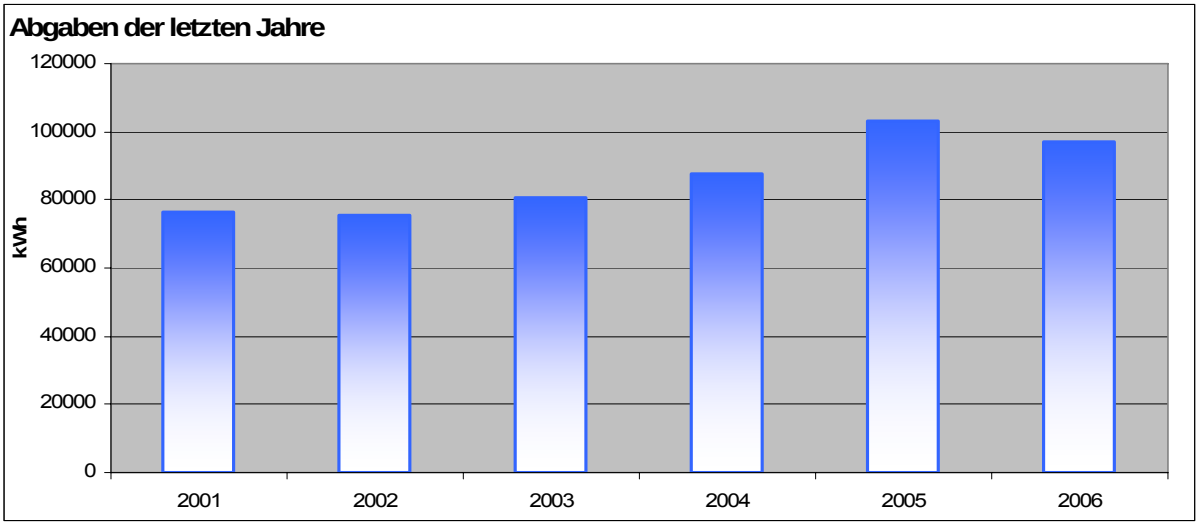


Abbildung 45: Energieabgaben der einzelnen Jahre

Die hohe Energieabgabe an das EWO im Jahr 2005 ist ebenfalls auf das Hochwasser im August 2005 zurück zuführen. Durch das Wasser haben viele Maschinen der Sägerei grossen Schaden erlitten und konnten dadurch nicht mehr betrieben werden. Deshalb sank der Eigenverbrauch an Energie und somit wurde mehr Energie ans EWO abgegeben.

Die mittlere Energieabgabe pro Jahr an das EWO beträgt **86'728 kWh** respektive **86.7 MWh**.

7.3 Ausfallstunden

In den letzten sieben Jahren gab es pro Jahr zwischen 206 und 380 Ausfallstunden. Im Mittel waren es 314.4 Ausfallstunden. Meistens schaltete die Anlage aus, weil sich infolge Verstopfung oder Vereisung langsam der Pegel in der Druckleitung senkte. Dadurch senkte sich auch der statische Druck, wodurch das Kraftwerk durch Ansprechen des Druckschalters ausgeschaltet wurde.

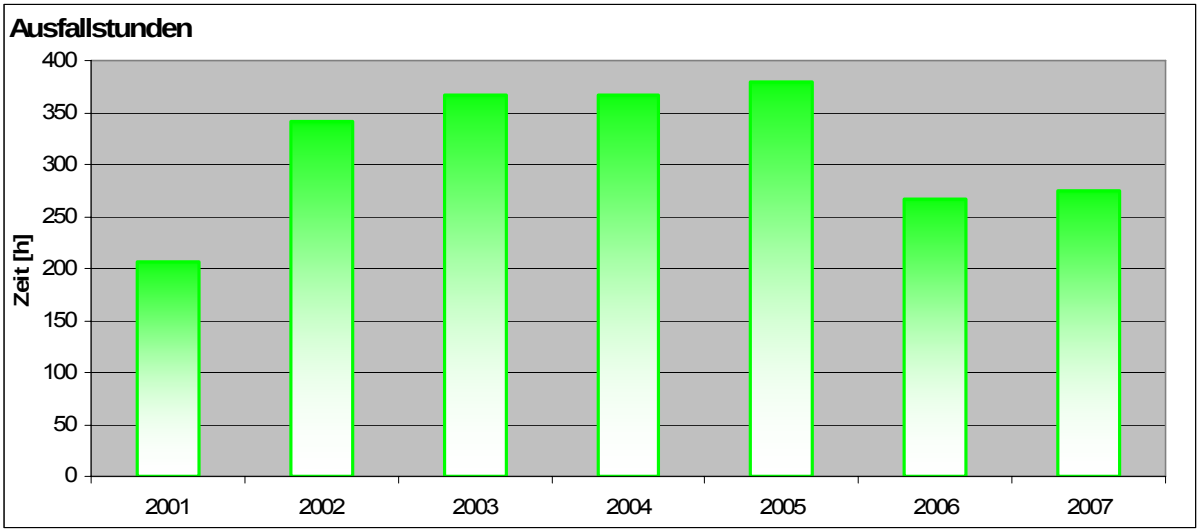


Abbildung 46: Ausfallstunden der einzelnen Jahre

Diese durchschnittliche Ausfallszeit entspricht mehr als 13 Tagen pro Jahr. Das heisst, im Durchschnitt wird jedes Jahr über 13 Tage hinweg überhaupt keine elektrische Energie erzeugt.

8 Datenzusammenfassung

Alle Angaben beziehen sich auf den Normalbetriebsfall, also voll geöffnete Düse.

Länge der Druckleitung:	986 m
Höhendifferenz (Bruttohöhe)	130.6 m
Statischer Druck bei der Düse:	11.52 bar
Nettohöhe:	117.4 m
Typ des Generators:	Kurzschlussläufer Asynchron Motor
Nennleistung des Generators:	30 kW
Nenndrehzahl des Generators:	960 U/min
Polpaarzahl:	3
Drehzahl im Generatorbetrieb:	1’020 U/min
Typ des Turbinenrads:	Pelton
Strahlkreisdurchmesser:	430 mm
Becherbreite:	85 mm
Strahldurchmesser:	26.8 mm
Bruttoleistung der Anlage:	33’577 W
Hydraulische Leistung:	30’210 W
Mechanische Leistung:	22’500 W
Abgabeleistung Generator:	21’200 W
Blindleistung ohne Kompensation:	24’090 var
Scheinleistung ohne Kompensation:	32’090 VA
Blindleistung mit Kompensation:	14’115 var
Scheinleistung mit Kompensation:	25’469 VA
Leistungsfaktor ohne Kompensation:	0.661
Leistungsfaktor mit Kompensation:	0.832
Wirkungsgrad der Druckleitung:	90.0 %
Wirkungsgrad der Turbine:	74.5 %
Wirkungsgrad des Generators:	93.9 %
Gesamtwirkungsgrad der Anlage:	63.1 %
Durchschnittliche Energieproduktion:	174’337 kWh/Jahr
Durchschnittliche Energieabgabe an EWO:	86’728 kWh/Jahr
Vergütung durch EWO:	0.16 Fr/kWh

9 Stand der Technik

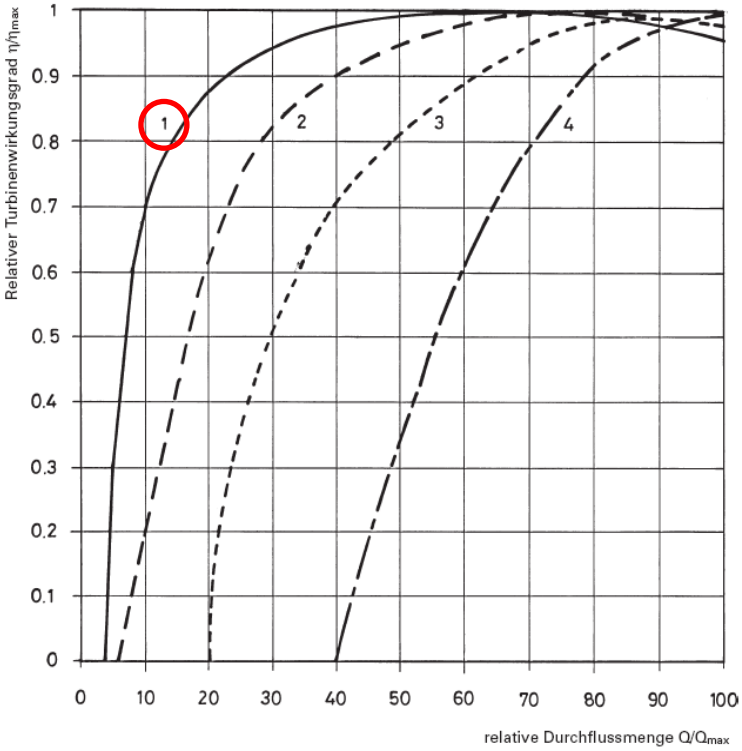
Anhand des derzeitigen Standes der Technik soll ermittelt werden, in welchem Zustand sich das Wasserkraftwerk bezüglich Druckleitung, Turbine und Generator befindet.

9.1 Druckleitung

Der Stand der Technik hat sich bei den Druckleitungen seit der Installation der neuen Druckrohre im Jahr 1986 kaum oder gar nicht verändert.

9.2 Turbine

Die Grafik rechts zeigt den Verlauf des relativen Wirkungsgrades von verschiedenen Turbinentypen. Die Kurve 1 zeigt den Verlauf einer typischen Peltonturbine. Sie hat ihren maximalen Wirkungsgrad bei etwa 60–70 % ihres maximalen Schluckvermögens.
Der maximale Wirkungsgrad einer modernen Peltonturbine liegt bei 84–90 %, wobei dieser stark von der Grösse bzw. von der Leistung der Turbine abhängt. In der Grössenordnung der untersuchten Turbine können Wirkungsgrade von ca. 84 % erreicht werden.
Dies wurde auch durch eine Anfrage bei einem Turbinenhersteller bestätigt, welcher uns einen Wirkungsgrad von 82 % mit ihrer Peltonturbine PT 09-H1 versprach (siehe Anhang „Produktliste Global Hydro Energy“).
Bei der Referenzanlage ist ein Wirkungsgrad von 84.3 % angegeben (siehe Anhang „Referenzanlage Blue-Water-Power AG“).



Grössenordnung des maximalen Wirkungsgrades η_{max}

Kurve 1:	Peltonturbine	η_{max} = 84–90%
	Durchströmturbine zweizellig	η_{max} = 78–84%
Kurve 2:	Kaplanturbine	η_{max} = 84–90%
Kurve 3:	Francisturbine	η_{max} = 84–90%
	Durchströmturbine einzellig	η_{max} = 78–84%
Kurve 4:	Pumpen im Turbinenbetrieb	η_{max} = 75–90%

Abbildung 47: Wirkungsgrade verschiedener Turbinenarten

9.3 Generator

Asynchronmaschinen erreichen je nach Motorengrösse, bzw. Motorenleistung sehr unterschiedliche Wirkungsgrade. Ob eine Asynchronmaschine als Generator oder als Motor betrieben wird, ändert am Wirkungsgrad nichts. Im Leistungsbereich des untersuchten Generators (30 kW) können mit modernen Maschinen Wirkungsgrade zwischen ca. 91 % und 94 % realisiert werden. Wobei ein Wirkungsgrad von 94 % wirklich als sehr gut bezeichnet werden kann. Der Asynchrongenerator der Referenzanlage hat einen Wirkungsgrad von 90,8 % und ist damit auch recht gut (siehe Anhang „Referenzanlage Blue-Water-Power AG“).

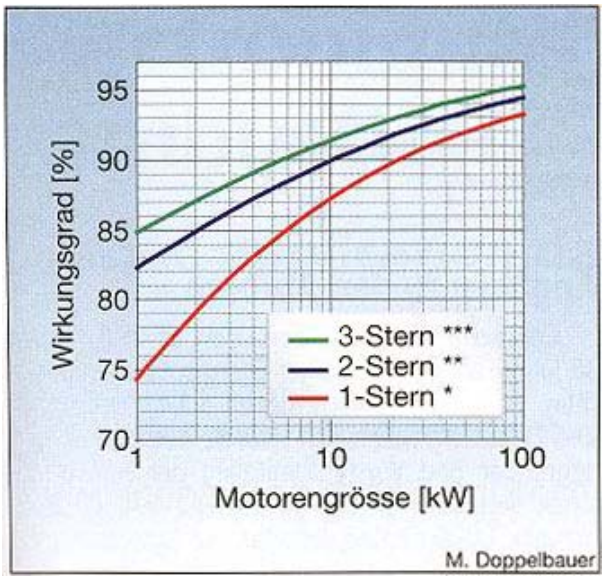


Abbildung 48: Wirkungsgrad verschiedener Asynchronmotor-Klassen

Der Wirkungsgrad ist aber nicht nur von der Leistung sondern auch von der jeweiligen Auslastung abhängig. Um einen guten Wirkungsgrad zu erreichen, sollte eine Asynchronmaschine mit mindestens 50 % Auslastung betrieben werden.

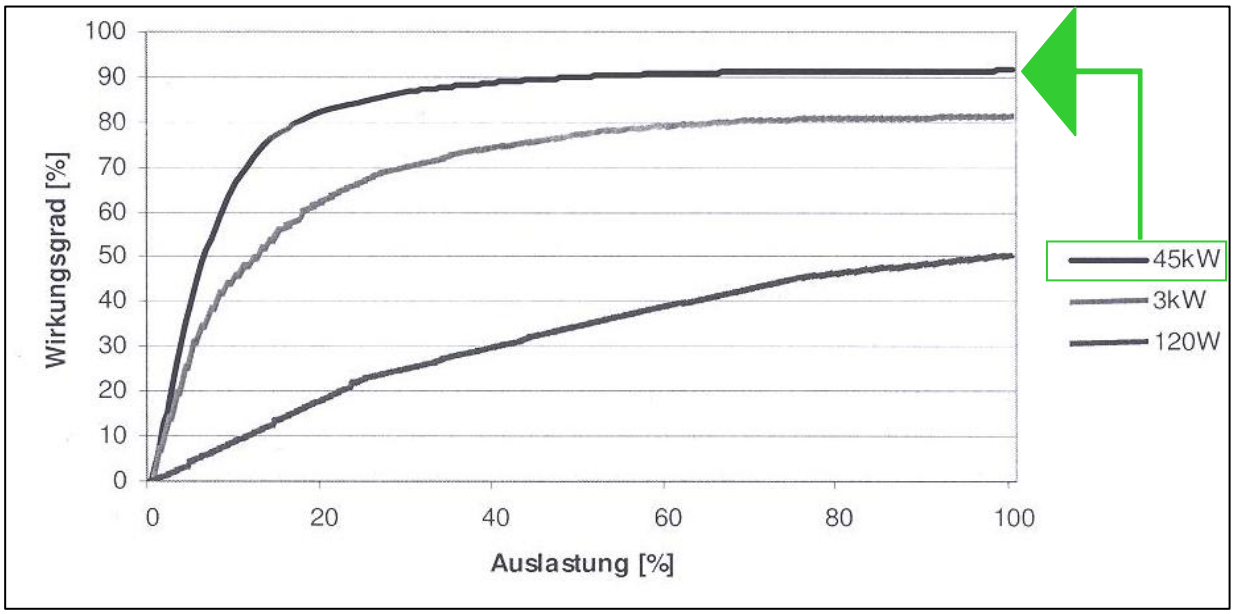


Abbildung 49: Wirkungsgrad einer 45 kW ASM in Abhängigkeit der Auslastung

10 Beurteilung der Kraftwerksanlage

Um Erkenntnisse über das weitere Vorgehen zu erhalten, wird der derzeitige Stand der Technik mit der installierten Anlage verglichen.

10.1 Druckleitung

Aus Gesprächen mit Experten geht hervor, dass der Wirkungsgrad der Druckleitung von ca. 90 % dem durchschnittlichen Wert von Anlagen dieser Grössenordnung entspricht. Die Druckleitung weist somit kein Verbesserungspotential auf.

10.2 Turbine

Aus der nebenstehenden Abbildung kann entnommen werden, dass für die Anlage der richtige Turbinentyp gewählt wurde. Für den Betriebspunkt der Anlage (roter Punkt) kommt nur eine Peltonturbine in Frage.

Grundsätzlich ist die Turbinenbauart hervorragend. Die Gleitlager der Turbine sind nicht direkt an das Turbinenradgehäuse angeflanscht, sondern sind separat auf zwei Lagerböcken angebracht. Somit kann sich im Lagergehäuse kein Kondenswasser bilden. Die Gleitlagerlaufflächen, welche aus Bronze gefertigt sind, sind noch heute in gutem Zustand.

Aus den Berechnungen gehen keine sehr grossen Abweichungen bei den wichtigen

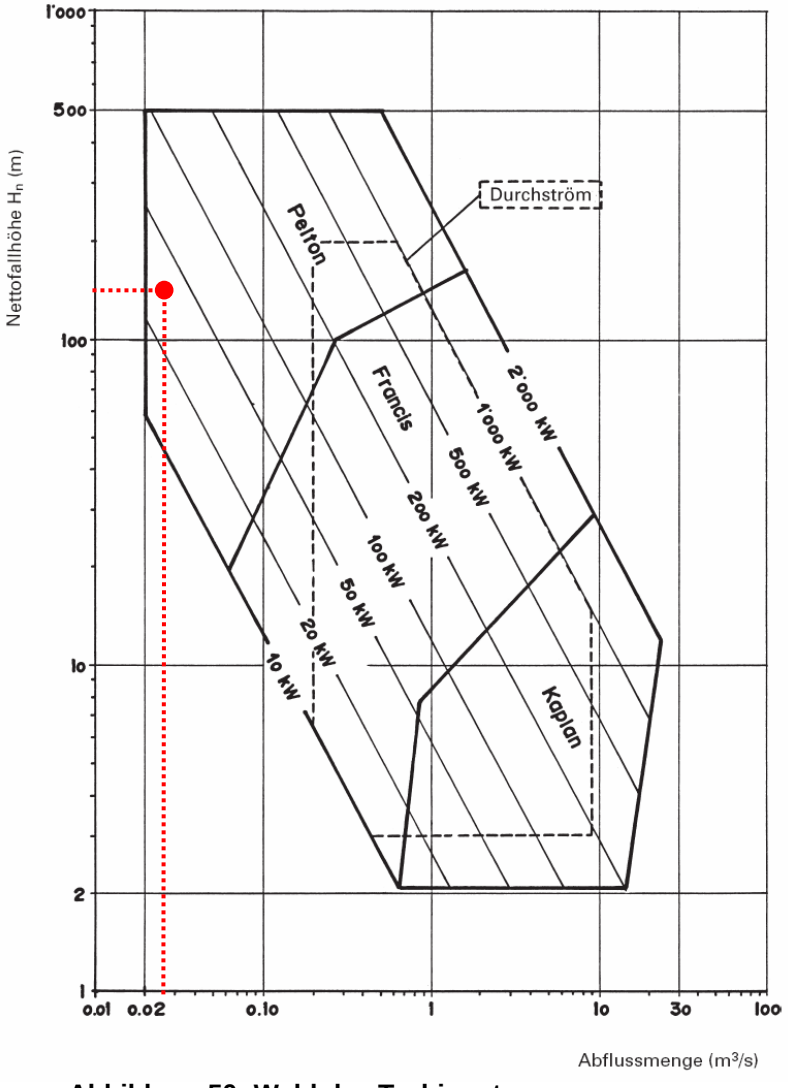


Abbildung 50: Wahl des Turbinentyps

Kennwerten hervor. Daraus kann geschlossen werden, dass die Turbine richtig Dimensioniert ist.
Der Wirkungsgrad der Turbine ist mit 74.5 % eher schlecht. Hier ist also einiges an Verbesserungspotential vorhanden.

10.3 Generator

Der Typ des Generators ist für diese Leistung und Parallelbetrieb am Netz richtig gewählt. Auch die Leistung des Generators ist grundsätzlich richtig dimensioniert.
Der Wirkungsgrad von 93.9 % ist für diese Leistungsklasse sicherlich überdurchschnittlich gut, aber nicht unrealistisch. Aus dem Kapitel „Stand der Technik“ geht hervor, dass ein solcher Wirkungsgrad in dieser Leistungsklasse durchaus realisierbar ist.

10.4 Gespräche mit Experten

10.4.1 Wasserbau und Turbine

Zur Beurteilung des Wasserbaus und der Turbine wurde Herr Prof. Dr. Thomas Staubli vom „CC Fluidmechanik & Hydromaschinen“, befragt.
Laut seinen Erfahrungen ist der Wasserbau wie üblich ausgeführt. Die Verluste in der Druckleitung sind mit anderen Anlagen vergleichbar.
Für das hohe Alter der Turbine weist die Turbine einen relativ guten Wirkungsgrad auf. Die Turbinenbauart ist gut und weist keinerlei Verbesserungspotenzial auf. Jedoch sind die Schaufeln des Peltonrads stark abgenutzt. Eine Erneuerung des Laufrads wird laut Herr Staubli eine Wirkungsgradsteigerung von mindestens 5 % ausmachen.

10.4.2 Generator

Zu den gewonnenen Resultaten aus den Berechnungen des Generators wurde Herr Dr. Adrian Omlin befragt. Er ist hauptamtlicher Dozent für Elektrotechnik an der Hochschule Luzern Technik & Architektur.
Laut seiner Erfahrung ist der berechnete Wirkungsgrad des Asynchrongenerators sehr gut. Aber auch er ist der Auffassung, dass dies realisierbar ist, da vor allem bei älteren elektrischen Maschinen bei der Konstruktion nicht gespart worden ist. Unterlagen betreffend Asynchronmaschinen bestätigen dies.

11 Wirtschaftlichkeit

1 Investitionskosten Revision

1.1	Revision Wasserfassung	0	CHF
1.2	Revision Druckleitung	0	CHF
1.3	Erneuerung Peltonrad	18'000	CHF
1.4	Revision Generator	0	CHF
1.5	Erneuerung Steuerung	5'000	CHF
1.6	Neuinstallation Pegelstand-Regelung	3'500	CHF
1.7	**Total Investitionskosten Revision**	**26'500**	**CHF**

2 Elektrische Energieproduktion nach Revision pro Jahr

2.1	Jährliche el. Energieproduktion vor Revision pro Jahr	174'337	kWh
2.2	Steigerung durch neue Steuerung/Regelung Ausfallstunden pro Jahr total 314 Stunden Hälfte der Ausfallstunden unter Volllastbetrieb (21.2 kW)	3'328	kWh
2.3	Steigerung Gesamtproduktion durch neues Peltonrad von 5 %	8'717	kWh
2.4	El. Energieproduktions-Steigerung über 1 Jahr	12'045	kWh
2.5	**Jährliche el. Energieproduktion nach Revision pro Jahr**	**186'382**	**kWh**

3 Rücklieferungs-Einnahmen pro Jahr

3.1	Jahreseinnahmen vor Revision (16 Rp/kWh)	27'894	CHF
3.2	Jahreseinnahmen nach Revision (16 Rp/kWh)	29'821	CHF
3.3	**Mehreinnahmen pro Jahr**	**1'927**	**CHF**

4 Amortisation Revision

4.1	Investitionskosten Revision von jährlichen Mehreinnahmen gedeckt nach	14	Jahre

5 Betriebs- und Unterhaltskosten

5.1	Versicherung Kraftwerksanlage	1'100	CHF
5.2	Unterhaltskosten Bauwerke	1'200	CHF
5.3	Reparaturen Mechanik	1'000	CHF
5.4	Reparaturen Elektrotechnische Komponenten	1'000	CHF
5.5	Reinigen Wassereinlauf, Entsander	3'000	CHF
5.6	Wartung Turbine	500	CHF
5.7	Administration und Buchhaltung Kraftwerkeigentümer	500	CHF
5.8	Rückstellungen für Revisionen/Erneuerungen	12'000	CHF
5.9	**Total Betriebs- und Unterhaltskosten pro Jahr**	**20'300**	**CHF**

6 Gewinn pro Jahr

6.1	Gewinn pro Jahr vor Revision	7'594	CHF
6.2	Gewinn pro Jahr nach Revision	9'521	CHF

7 Stromgestehungskosten

7.1	Stromgestehungskosten pro kWh vor Revision	0.116	CHF
7.2	Stromgestehungskosten pro kWh nach Revision	0.109	CHF

Die eingesetzten Werte beziehen sich auf Durchschnittswerte. Mit jährlichen Abweichungen ist somit zu rechnen.

Die Erneuerung des Peltonrades, der Steuerung und die Neuinstallation einer Pegelregelung bewirken eine Steigerung der elektrischen Energieproduktion. Die Revisionsinvestition wäre dank den jährlichen Mehreinnahmen innerhalb von 14 Jahren gedeckt. Da Wasserkraftwerkanlagen über viele Jahrzehnte betrieben werden, ist eine Investition in eine Revision sinnvoll. Zudem ist die Peltonturbinen-Technologie ausgereift und ändert sich schon seit vielen Jahren praktisch nicht mehr.

Bis anhin wurden keine Rückstellungen für allfällige Revisionen oder Erneuerungen gemacht. Dies sollte unbedingt gemacht werden, denn eine Revision oder eine Neuinstallation an einem Wasserkraftwerk kostet schnell mehrere zehntausend Franken. Auch eine grosse Reparatur entspricht einer Revision. So kann dann für deren Bezahlung von den Rückstellungen gebrauch gemacht werden.

Das Kraftwerk ist dank dem relativ hohen Energierücknahmetarif von 16 Rp/kWh für die Kraftwerksbesitzer rentabel. Laut dem bis ins Jahr 2035 gültigen Bundesgesetz, müssen 15 Rp/kWh vergütet werden. Das Elektrizitätswerk Obwalden (EWO) bezahlt also pro kWh 1 Rp. mehr als gesetzlich gefordert. Laut dem EWO ändert sich am Rücknahmetarif vorläufig nichts. Im schlechtesten Fall könnte der Tarif auf 15 Rp/kWh angepasst werden.

Die Stromgestehungskosten sind im Vergleich mit grossen Kraftwerken sehr hoch. Nur dank dem Bundesgesetz über den speziellen Energierücknahmetarif ist dieses Kleinkraftwerk rentabel.

12 Empfehlungen fürs weitere Vorgehen

Nach Gründlicher Analyse der Kraftwerksanlage wird empfohlen, das Projekt WKWO weiter zu verfolgen. Bei diversen elektrischen und mechanischen Komponenten gibt es Verbesserungspotential:

1. An der eingesetzten Peltonturbine geht einiges an Leistung verloren. Es wird empfohlen das Peltonrad komplett zu ersetzen, was eine Steigerung der elektrischen Energieproduktion mit sich ziehen wird.

2. Die Steuerung ist durch diverse Änderungen sehr unübersichtlich gestaltet. Es wird empfohlen die gesamte Steuerung auf dem Stand der heutigen Sicherheitsvorschriften zu erneuern. Eine nützliche Ergänzung wäre zudem eine automatische Produktionsdaten-Aufzeichnung.

3. Durch eine Verringerung der Ausfallstunden kann die elektrische Energieproduktion gesteigert werden. Meistens schaltete die Anlage wegen einer Teil-Verstopfung an der Wasserfassung aus. Es wurden Versuche durchgeführt, bei welchen festgestellt werden konnte, dass die Anlage auch im Teillastbetrieb, also nicht ganz geöffneter Düse, gut arbeiten kann. Durch eine automatische Pegelstandsregelung kann eine Entleerung der Druckleitung und somit eine Ausschaltung der Anlage verhindert werden. Dadurch kann zusätzliche elektrische Energie produziert werden. Durch diese Regelung kann auch automatisch eine Benachrichtigung für eine empfohlene Rechenreinigung erfolgen.

4. Eine weitere Möglichkeit wäre eine automatische Kraftwerkssteuerung, welche die Anlage nach einem Ausfall wieder selbstständig in Betrieb nimmt. Dies würde aber nur in Zusammenhang mit einer automatischen Rechenreinigungsanlage Sinn machen, welche an der Wasserfassung nur schwer zu realisieren ist.

5. Die Wasserkonzession läuft per 31. Dezember 2009 ab. Es wird empfohlen sich mit der Erneuerung der Konzession ab Anfang des Jahres 2009 zu befassen und die nötigen Schritte einzuleiten um die Konzession zu erneuern.

Eine allfällige Weiterverfolgung des Projekts als Bachelor Diplomarbeit im Bereich Elektrotechnik wird empfohlen. Das Schwergewicht ist auf die Punkte 2 und 3 zu legen, da die restlichen Punkte keine elektrotechnischen Probleme sind.
Um den Punkt 1 zu erfüllen, kann mit der Firma Sigrist AG in Sachseln Kontakt aufgenommen werden. Bei dieser wurde im November 2007 bereits eine mündliche Offerte eingeholt. Der Peis ist dem Kapitel 11 zu entnehmen.

13 Schlussdiskussion

Trotz anfänglicher Erkenntnis, dass zum Wasserkraftwerk ausser der Wasserkonzession und den Bauwerkplänen keinerlei Dokumente existieren, konnte die gesamte Anlage sehr gut analysiert und dokumentiert werden. Damit dies ausführlich und möglichst genau gemacht werden konnte, waren diverse Messungen an der Anlage erforderlich. Anhand der erfassten Daten wurden die daraus resultierenden Schlüsse gezogen. Hierbei wurde schon bald ersichtlich, dass die gesamte Kraftwerksanlage trotz der sehr alten Turbine und dem zu gross ausgelegten Generator einen relativ guten Wirkungsgrad hat. Im Vergleich zur heutigen Kraftwerkstechnik hat sich ausser einer kleinen Wirkungsgradsteigerung nicht viel verändert.

Die gesamte Arbeit am Industrieprojekt erforderte vielseitige Kenntnisse aus verschiedenen Fachgebieten. Nebst dem elektrotechnischen Wissen waren auch mechanische Kenntnisse notwendig. Trotz dem bereits über zweijährigen Studium konnten wir nicht alle Fragen selbst beantworten.
An dieser Stelle möchten wir uns bei allen bedanken, die uns in irgendeiner Form bei der Bearbeitung des Industrieprojekts unterstützt haben. Ein spezieller Dank geht an folgende Personen:

- Herr Dr. Adrian Omlin, hauptamtlicher Dozent Elektrotechnik an der Hochschule Luzern - Technik & Architektur. Er unterstützte uns bei den Messungen und Berechnungen zum Generator.
- Herr Prof. Dr. Thomas Staubli, Leiter „CC Fluidmechanik & Hydromaschinen“ und hauptamtlicher Dozent Maschinentechnik an der Hochschule Luzern - Technik & Architektur. Bei Fragen zum Wasserbau und zur Turbine bekamen wir bei Ihm die gesuchten Antworten dazu.
- Herr Hanspeter Wyss, Leiter eigene Kraftwerke bei CKW und nebenamtlicher Dozent Hochschule Luzern - Technik & Architektur. Von Ihm wurden wir bei allgemeinen Fragen rund um den Kraftwerksbetrieb unterstützt.
- Herr Werner Birrer, technischer Angestellter Maschinentechnik an der Hochschule Luzern - Technik & Architektur. Für die Druckmessung an der Druckleitung stellte er uns einen Drucksensor mit passenden Anschlüssen bereit.
- Herr Markus Treichler, Support Fluke Industrial von der Firma Fluke (Schweiz) GmbH. Er konnte uns das messtechnische Problem bei der Leistungsmessung am Generator lösen.

Ein grosser Dank gilt auch den Kraftwerksbesitzern, welche bei allgemeinen Fragen betreffend der Kraftwerksanlage stets zur Verfügung standen.

Die äusserst abwechslungsreichen Arbeiten bei der Bearbeitung dieses Industrieprojekts waren sehr motivierend. Es kamen dauernd neue Erkenntnisse dazu, welche wieder andere Betrachtungsweisen hervorgerufen haben. Wir haben an der Schule einiges gelernt, doch tauchten immer wieder Fragen auf, welche wir nicht auf Anhieb beantworten konnten. Gerade diese noch nie da gewesenen Fragen gaben den Ansporn intensiv nach Lösungen zu suchen.

Für die stets sehr gute und effiziente Zusammenarbeit möchten wir uns hiermit bei unserem Industrieprojekt-Betreuer Herr Prof. Dr. Dominique Salathé bedanken. Er vermochte uns mit seiner Kompetenz stets die richtigen Hinweise zu geben und verhalf uns dadurch diese Arbeit voranzutreiben.

Tobias Burch Silvan Gisler

14 Quellenangaben

14.1 Bücher

⇒ Kleinwasserkraftwerke – Wasserturbinen
ISBN 3-905232-54-5

⇒ Kleinwasserkraftwerke - Wahl, Dimensionierung und Abnahme einer Kleinturbine
ISBN 3-905232-57-X

⇒ Kleinwasserkraftwerke – Generatoren und elektrische Installationen
ISBN 3-905232-70-7

⇒ Wasserkraftanlagen – Planung, Bau und Betrieb
ISBN 3-540-60993-8

⇒ Kleinwasserkraftwerke – Turbinenregelung und Schutzmassnahmen
ISBN 3-905232-70-7

14.2 Internet

⇒ www.bfe.admin.ch

⇒ www.blue-water-power.ch

⇒ www.hydro-energy.com

⇒ www.kleinwasserkraft.ch

14.3 Skripte

⇒ Fach EAT: „EAT 2 Drehfeldantriebe“, von Dr. Adrian Omlin

⇒ Fach EEV: „Wasserkraftwerke“, von Hanspeter Wyss

14.4 Zeitschrift

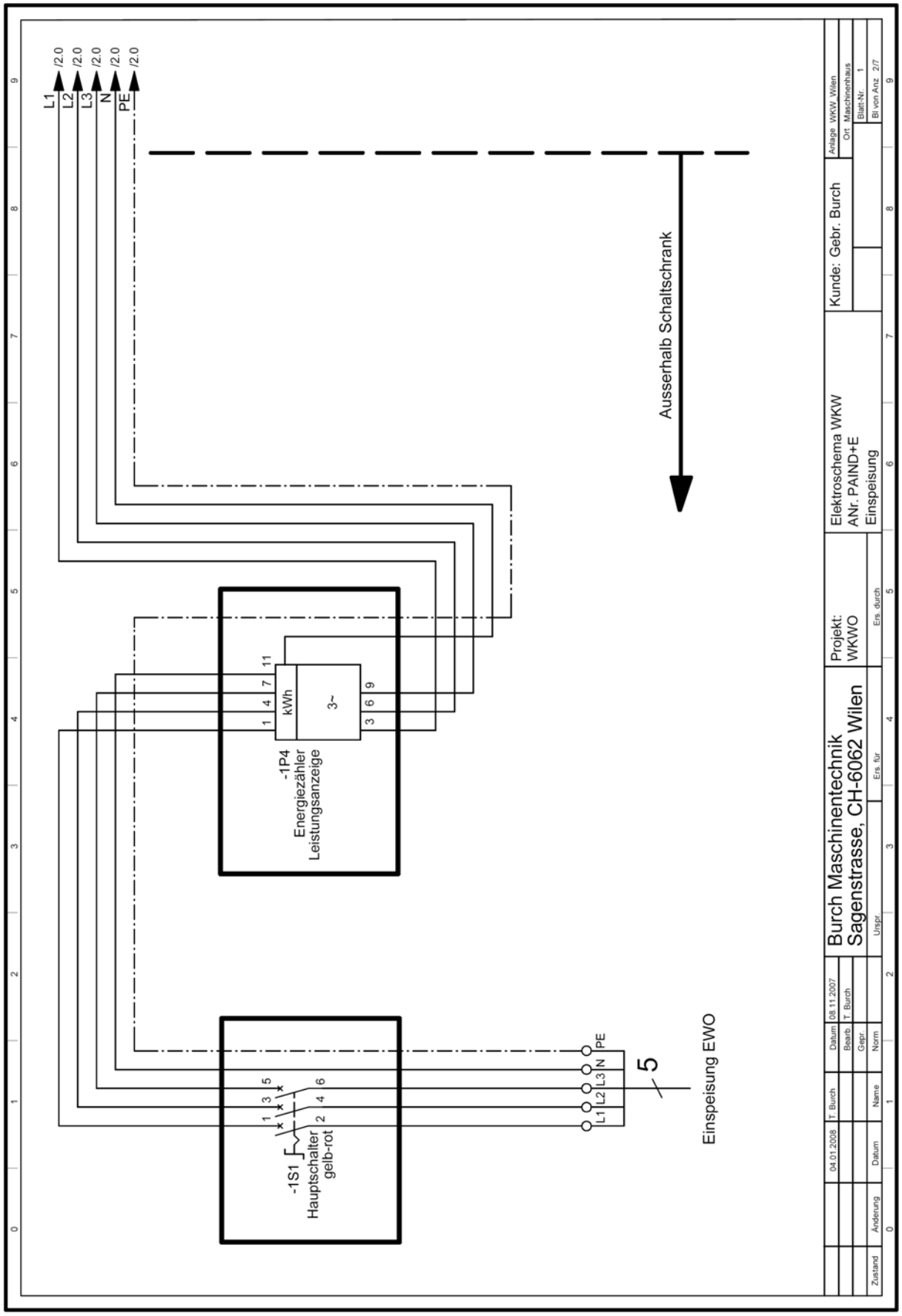
⇒ Das Kleinkraftwerk, Ausgabe Nr. 8 (9/86)
Herausgeber: Interesseverband Schweizerischer Kleinkraftwerk-Besitzer (ISKB)

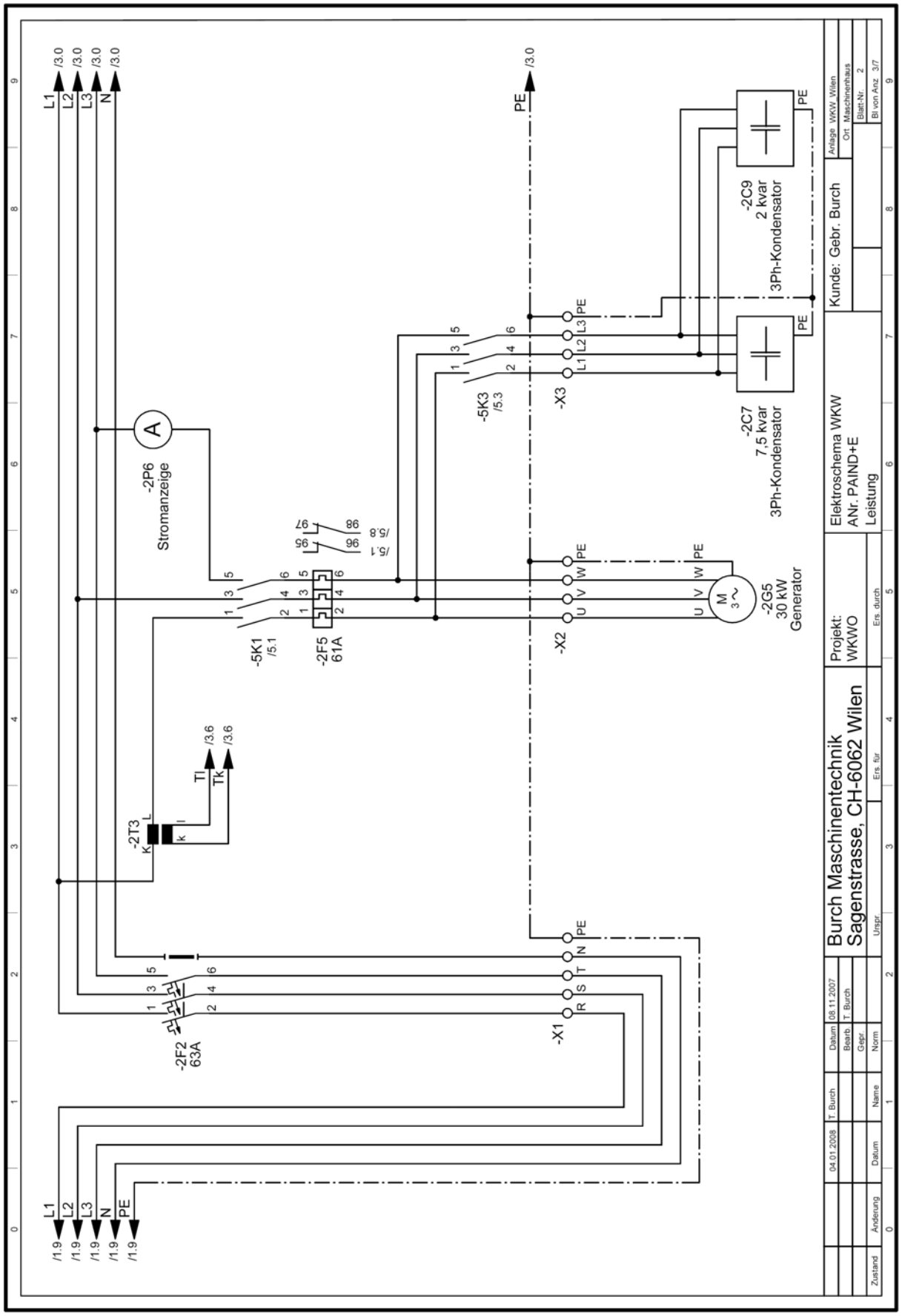
15 Anhang

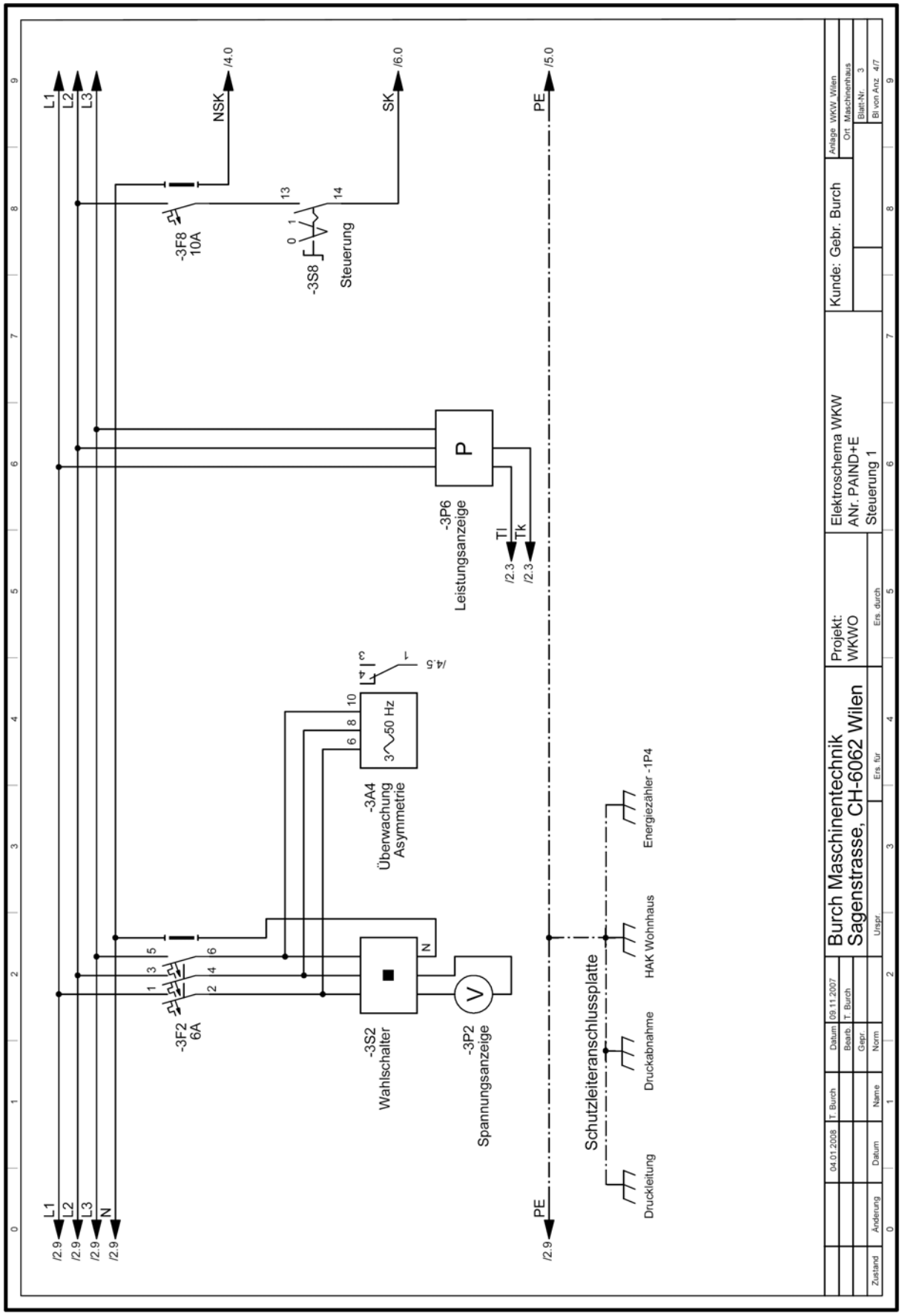
Anhang 1: Elektroschema Kraftwerkssteuerung 62
Anhang 2: Konzession 69
Anhang 3: Messbericht Fluke 435 75
Anhang 4: Kurzanleitung zu FLUKE 435 79
Anhang 5: Anfrage bei Global Hydro Energy (Email) 80
Anhang 6: Anfrage bei Global Hydro Energy (Beschrieb) 81
Anhang 7: Produktliste Global Hydro Energy 82
Anhang 8: Kleinwasserkraftwerk Global Hydro Energy 84
Anhang 9: Preisliste Global Hydro Energy 86
Anhang 10: Referenzanlage Blue-Water-Power AG 88
Anhang 11: Bauplan Maschinenhaus 89
Anhang 12: Bilder Laufrad Peltonturbine 91
Anhang 13: Bilder Maschinenhaus und Gerisbach 92
Anhang 14: Zeitplan 93

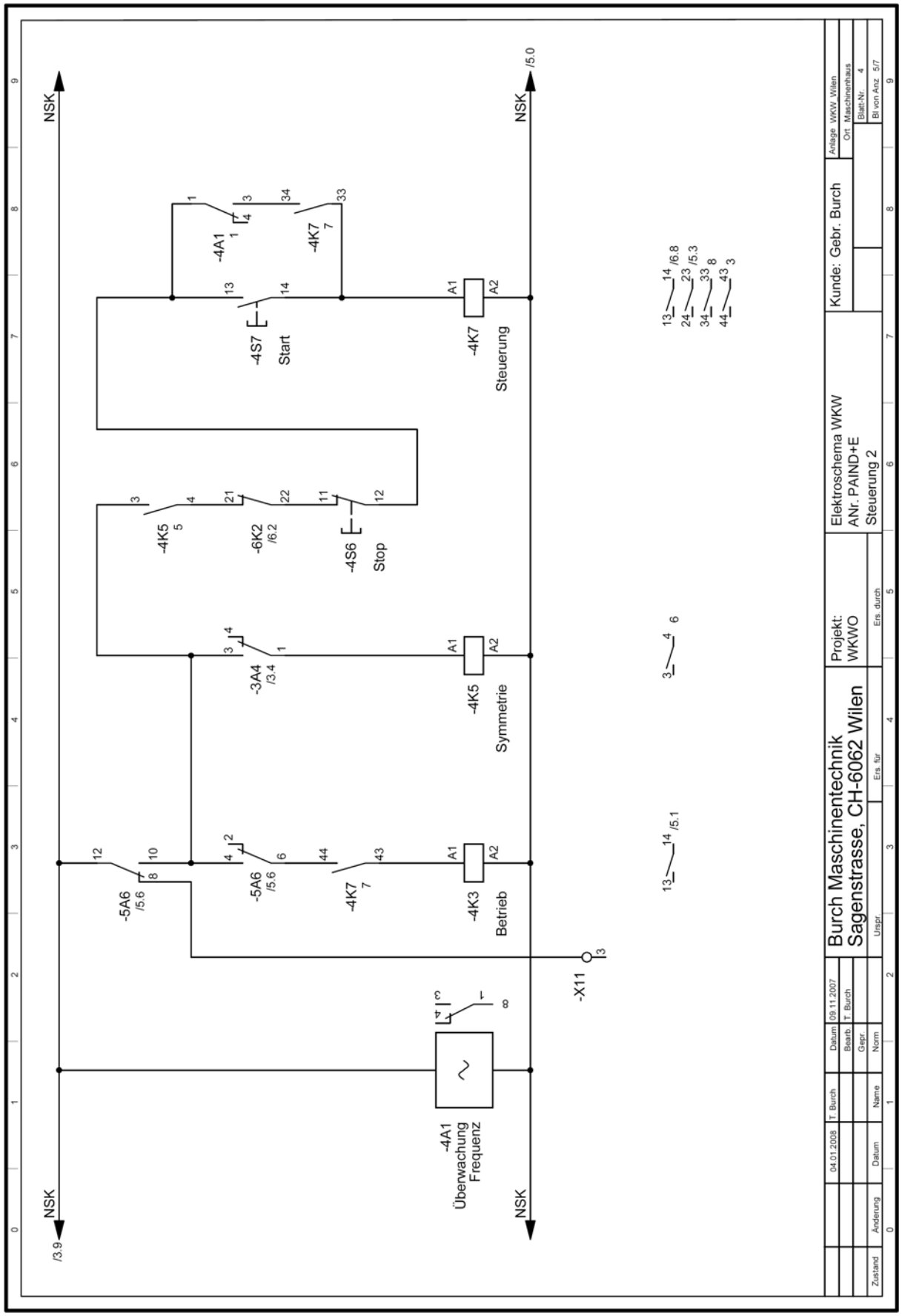
Anhang 1: Elektroschema Kraftwerkssteuerung

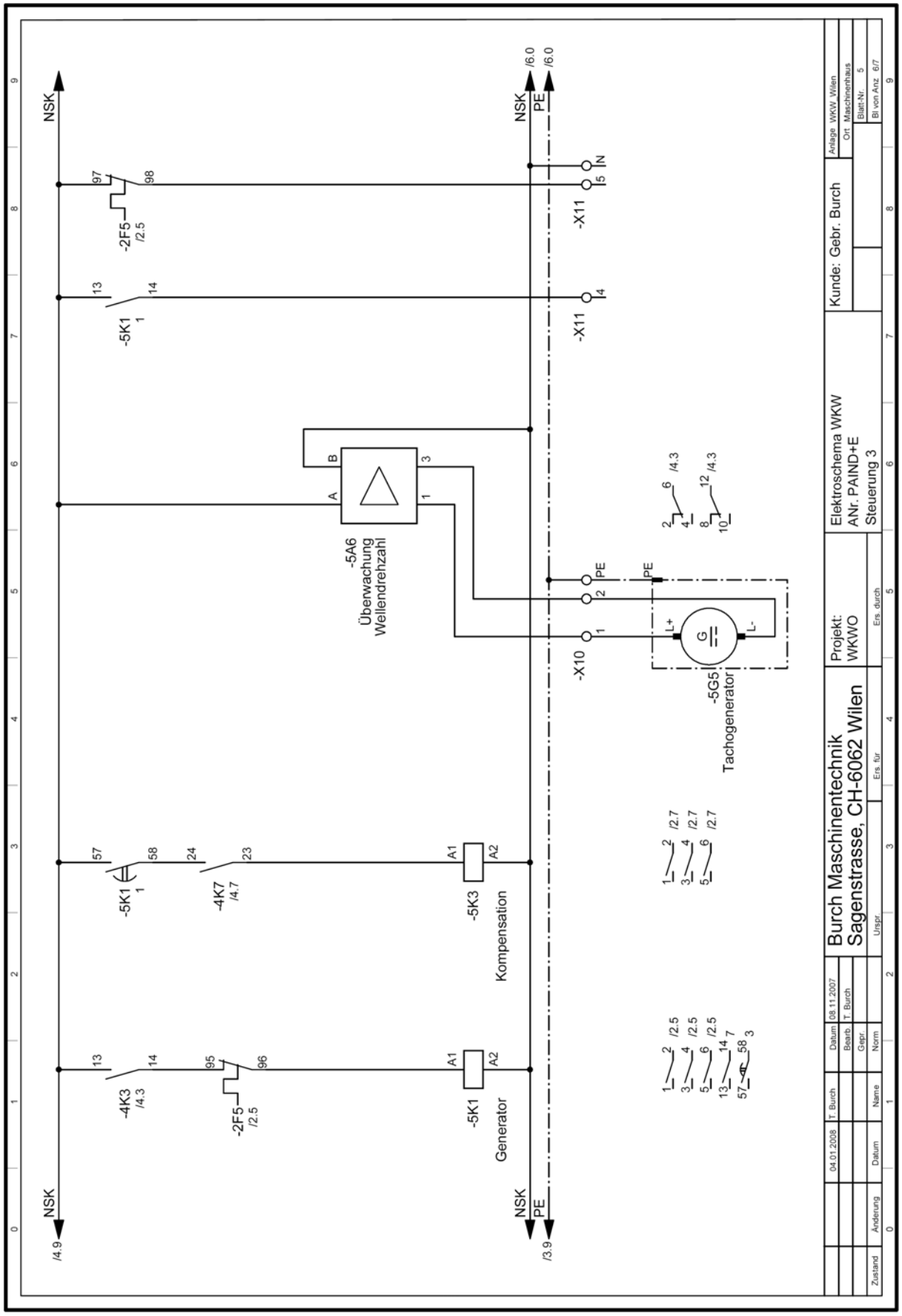
Projekt:	WKWO
Kunde:	Gebr. Burch
Projekt-Titel:	Elektroschema WKW
Auftragsnummer:	PAIND+E

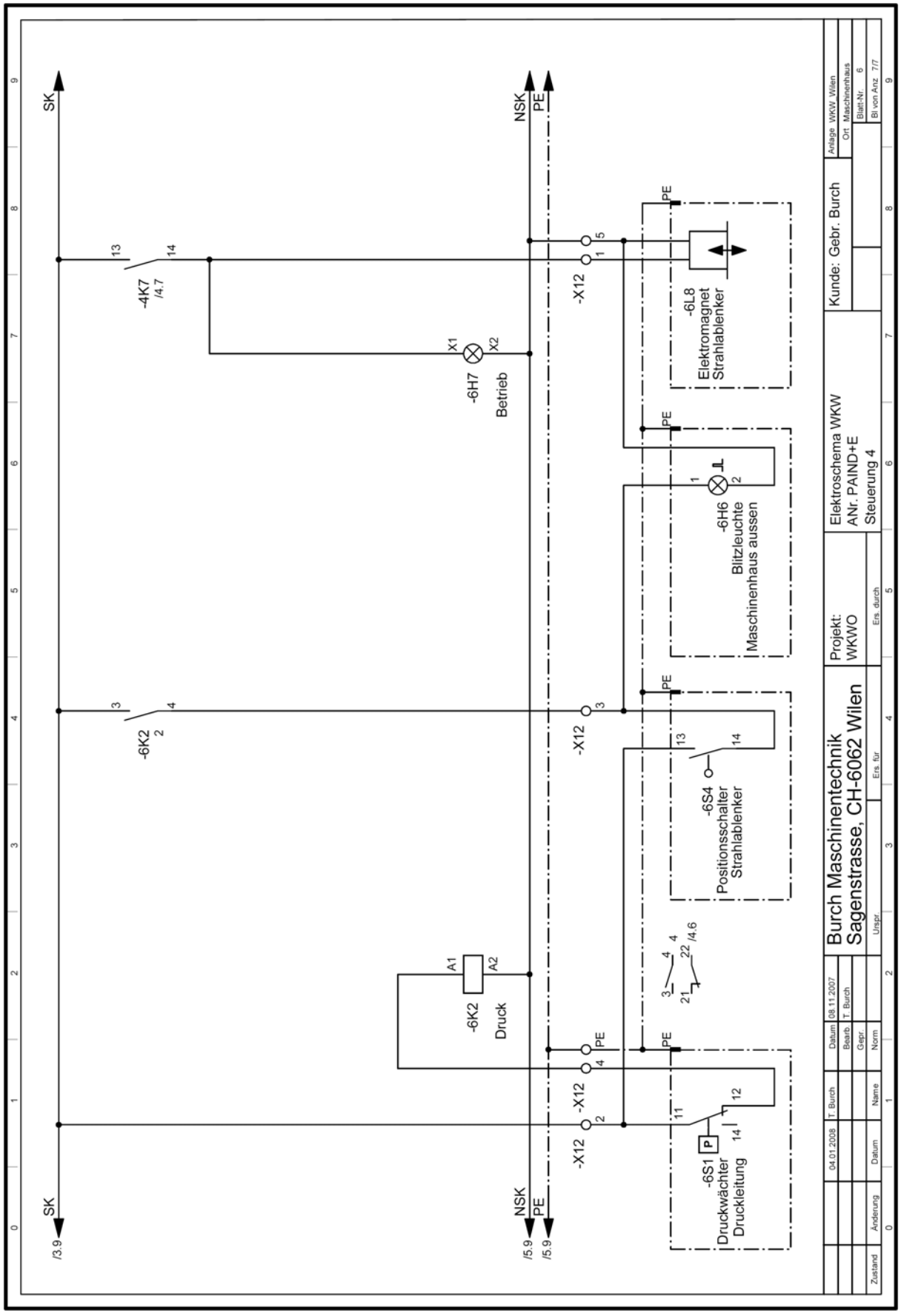

L1 /2.0
L2 /2.0
L3 /2.0
N /2.0
PE /2.0
Ausserhalb Schaltschrank
-1P4
Energiezähler
Leistungsanzeige
kWh
3~
1 4 7 11
3 6 9
-1S1
Hauptschalter
gelb-rot
1 3 5
2 4 6
L1 L2 L3 N PE
5
Einspeisung EWO
Burch Maschinentechnik
Sagenstrasse, CH-6062 Wilen
Projekt: WKWO
Elektroschema WKW
ANr. PAIND+E
Einspeisung
Kunde: Gebr. Burch
Anlage WKW Wilen
Ort Maschinenhaus
Blatt-Nr. 1
Bl von Anz 2/7
Datum 08.11.2007
Bearb T. Burch
Gepr.
Norm
Ers. für
Ers. durch
Unspr.
04.01.2008 T. Burch
Zustand
Änderung
Datum
Name


L1
L2
L3
N
PE
/3.0
-2P6
Stromanzeige
-2F2
63A
-2T3
-5K1
/5.1
-2F5
61A
/5.3
/5.4
-5K3
/5.3
-2C9
2 kvar
3Ph-Kondensator
-2C7
7.5 kvar
3Ph-Kondensator
-2G5
30 kW
Generator
-X1
-X2
-X3
TI
TK
/3.6
Burch Maschinentechnik
Sagenstrasse, CH-6062 Wilen
Projekt:
WKWO
Elektroschema WKW
ANr. PAIND+E
Leistung
Kunde: Gebr. Burch
Anlage WKW Wilen
Ort Maschinenhaus
Blatt-Nr. 2
Bl von Anz 3/7
04.01.2008
T. Burch
08.11.2007
T. Burch


L1
L2
L3
N
PE
NSK
SK
-3F8
10A
-3S8
Steuerung
-3P6
Leistungsanzeige
-3F2
6A
-3S2
Wahlschalter
-3P2
Spannungsanzeige
-3A4
Überwachung
Asymmetrie
50 Hz
Schutzleiteranschlussplatte
Druckleitung
Druckabnahme
HAK Wohnhaus
Energiezähler -1P4
Burch Maschinentechnik
Sagenstrasse, CH-6062 Wilen
Projekt:
WKWO
Elektroschema WKW
ANr. PAIND+E
Steuerung 1
Kunde: Gebr. Burch
Anlage WKW Wilen
Ort Maschinenhaus
Blatt-Nr. 3
Bl von Anz 4/7
04.01.2008
09.11.2007
T. Burch


NSK
/3.9
NSK
/5.0
-4A1
-4K7
-4S7
Start
-4K7
Steuerung
-4K5
-6K2
/6.2
-4S6
Stop
-3A4
/3.4
-4K5
Symmetrie
-5A6
/5.6
-5A6
/5.6
-4K7
-4K3
Betrieb
-X11
-4A1
Überwachung
Frequenz
Burch Maschinentechnik
Sagenstrasse, CH-6062 Wilen
Projekt:
WKWO
Elektroschema WKW
ANr. PAIND+E
Steuerung 2
Kunde: Gebr. Burch
Anlage WKW Wilen
Ort Maschinenhaus
Blatt-Nr. 4
Bl von Anz 5/7
04.01.2008
T. Burch
09.11.2007
T. Burch


NSK
/4.9
NSK
PE
/3.9
NSK
/6.0
PE
/6.0
-2F5
/2.5
-5K1
-4K3
/4.3
-2F5
/2.5
-5K1
Generator
-5K3
Kompensation
-4K7
/4.7
-5K1
-5A6
Überwachung
Wellendrehzahl
-X10
-X11
-X11
-5G5
Tachogenerator
Burch Maschinentechnik
Sagenstrasse, CH-6062 Wilen
Projekt:
WKWO
Elektroschema WKW
ANr. PAIND+E
Steuerung 3
Kunde: Gebr. Burch
Anlage WKW Wilen
Ort Maschinenhaus
Blatt-Nr. 5
Bl von Anz 6/7
04.01.2008 T. Burch Datum 08.11.2007
Bearb T. Burch
Gepr.
Norm
Name
Datum
Änderung
Zustand
Unspr.
Ers. für
Ers. durch


SK
NSK
PE
-4K7
/4.7
-6K2
-X12
-6H7
Betrieb
-6L8
Elektromagnet
Strahlablenker
-6H6
Blitzleuchte
Maschinenhaus aussen
-6S4
Positionsschalter
Strahlablenker
-6K2
Druck
-6S1
Druckwächter
Druckleitung
/4.6
/3.9
/5.9
Burch Maschinentechnik
Sagenstrasse, CH-6062 Wilen
Projekt:
WKWO
Elektroschema WKW
ANr. PAIND+E
Steuerung 4
Kunde: Gebr. Burch
Anlage WKW Wilen
Ort Maschinenhaus
Blatt-Nr. 6
Bl von Anz 7/7
04.01.2008
T. Burch
08.11.2007
T. Burch

Anhang 2: Konzession

KONZESSION
ZUR AUSNUETZUNG DER WASSERKRAFT DES GERISBACHES,
GEMEINDE SARNEN

vom 28. August 1984

Der Regierungsrat des Kantons Obwalden,

gestützt auf Artikel 76 Absatz 2 Ziffer 6 der Kantonsverfassung vom 19. Mai 1968[1],

in Anwendung von Artikel 38 ff. des Bundesgesetzes über die Nutzbarmachung der Wasserkräfte vom 22. Dezember 1916[2] und Artikel 37 ff. des kantonalen Gesetzes über Wasserbaupolizei, Wasserrechte und Gewässerkorrektionen vom 9. April 1877 / 28. April 1907[3],

verleiht

den Gebrüdern Josef und Robert Burch, Sägerei, Wilen, das Recht, die Wasserkraft des Gerisbaches zur Erzeugung elektrischer Energie gemäss den nachstehenden Bestimmungen zu nutzen:

Art. 1 Gegenstand und Umfang

1 Die vorliegende Konzession umfasst das Recht, aus dem Gerisbach Wasser zu entnehmen und dieses in der Sägerei in Oberwilen zur Erzeugung elektrischer Energie oder als Löschwasser zu verwenden.

2 Die technischen Daten der Anlage lauten:

Wasserfassung	Kote	605.65
Wasserrückgabe Sarnersee	Kote	469.40 (Mittelwasserstand)
mittleres Bruttogefälle		136.25 m
Lage Pelton-Turbine	Kote	475.00 m
Druckleitung	Durchmesser	130 - 160 mm
	Länge ca.	1000.00 m
Wassermenge	max.	16.70 l/s
Bruttoleistung		30.00 PS

1 LB XIII, 1
2 SR 721.80
3 LB II, 259, und IV, 249

3 Folgende Akten und technische Unterlagen bilden integrierende Bestandteile dieser Konzession:
Technischer Bericht vom 12. März 1984
Situation Maschinenhaus 1 : 500 vom 2. Februar 1984
3 Situationen Druckleitung 1 : 2000
Plan Wasserfassung 1 : 50 vom 1. März 1984
Plan Maschinenhaus 1 : 20 vom 1. März 1984

Art. 2 Dauer

Die Konzession wird rückwirkend auf den 1. Januar 1984 erteilt und dauert 25 Jahre, also bis 31. Dezember 2009.

Art. 3 Beendigung

1 Die Konzession erlischt:
a) wenn die Konzessionäre darauf verzichten;
b) nach Ablauf der Dauer;
c) wenn ein höheres öffentliches Interesse einer Weiternutzung des Wassers gemäss Art. 1 Abs. 1 entgegensteht. (z.B. bei einer Ausnützung der westlichen Sarnerseewildbäche durch das Elektrizitätswerk Obwalden [EWO]).

2 Die Konzession wird verwirkt:
a) wenn die Konzessionäre wichtige Pflichten trotz Mahnung gröblich verletzen;
b) wenn die Anlage während zwei Jahren ununterbrochen nicht betrieben wird.

3 Beim Erlöschen oder Verwirken der Konzession sind die Konzessionäre verpflichtet, auf Verlangen den ursprünglichen Zustand entschädigungslos wieder herzustellen, soweit Gründe der Sicherheit oder des Natur- und Heimatschutzes dies erfordern.

Art. 4 Verlängerung

Die Konzession kann verlängert werden, wenn ein Jahr vor Ablauf ein entsprechendes Gesuch gestellt wird.

Art. 5 Uebertrag

Jede Uebertragung der Konzession auf einen Rechtsnachfolger oder einen Dritten bedarf der Zustimmung des Regierungsrates.

Art. 6 Energieverwertung

1 Die erzeugte Energie ist im Betrieb der Konzessionäre zu verwerten. Es wird den Konzessionären gestattet, im Austauschverfahren dem EWO Strom abzugeben.

2 Im Falle eines Parallelbetriebes mit dem EWO-Netz sind die entsprechenden Betriebs- und Sicherheitsvorschriften des EWO einzuhalten.

Art. 7 Gebühren und Wasserzins

1 Die Konzessionäre haben dem Staat Obwalden eine einmalige Behandlungsgebühr von Fr. 200.-- zu entrichten, fällig nach erfolgter Unterzeichnung der Konzession.

2 Der jährliche Wasserzins errechnet sich wie folgt:

Ausbauwassermenge	16.70 l/s
Bruttogefälle	136.25 m

Bruttoleistung = $0.0167 \times 136.25 \times \frac{1000}{75}$ = rd. 30 PS Br

Wasserzinsansatz z.Z.	= Fr. 12.50
Wasserzins (30 x 12.50)	= Fr. 375.--

Bei Aenderung des nach Bundesrecht zulässigen maximalen Wasserzinses wird obiger Ansatz entsprechend angepasst.

3 Auf die Erhebung einer Fischereigebühr wird verzichtet.

4 Die Zahlung des Wasserzinses hat jeweils im Monat Dezember unaufgefordert an die Staatskasse Obwalden zu erfolgen.

Art. 8 Drittmannsrechte

Alle Rechte Dritter und des Staates werden ausdrücklich vorbehalten.

Art. 9 Bauliche Veränderungen

Projekte für Ergänzungen und Aenderungen an Bauten und Anlagen sind von den Konzessionären dem Baudepartement zur Genehmigung vorzulegen und dürfen erst nach erfolgter Genehmigung ausgeführt werden.

Art. 10 Unterhaltspflicht

1 Die Konzessionäre haben sämtliche Anlageteile stets sorgfältig zu beaufsichtigen und in gutem Zustand zu erhalten.

2 Das kantonale Baudepartement überwacht die Aufrechterhaltung des konzessionsmässigen Zustandes der Bauten und Anlagen. Es hat jederzeit das Recht, diejenigen Massnahmen und Ergänzungsarbeiten vorzuschreiben oder auf Kosten der Konzessionäre ausführen zu lassen, die sich später im Interesse der öffentlichen Sicherheit oder in flusspolizeilicher Hinsicht als notwendig erweisen sollten.

Art. 11 Zutritt

Die Konzessionäre sind verpflichtet, den mit der staatlichen Aufsicht betrauten Beamten jederzeit den Zutritt zu sämtlichen Plätzen und Anlageteilen zu gestatten.

Art. 12 Haftpflicht

1 Die Konzessionäre haften für alle Schäden, welche infolge Betrieb oder Umbau der Anlage an Personen oder an privatem oder öffentlichem Eigentum entstehen sollten. Die Konzessionäre haben eine Haftpflichtversicherung mit unbeschränkter Deckungshöhe abzuschliessen. Der Ausweis über den Versicherungsabschluss ist dem Baudepartement innerhalb von 30 Tagen seit Zustellung der Konzessionsurkunde zu erbringen.

2 Die besonderen Bedingungen müssen den Text enthalten: "Die Versicherungsnehmerin ermächtigt den Versicherer, jede Aenderung der Versicherung dem kantonalen Baudepartement mitzuteilen".

Art. 13 Bachkorrektion

Sollten bei Bachverbauungs- oder Unterhaltsarbeiten infolge der Kraftwerkanlage zusätzliche Kosten entstehen, so haben die Konzessionäre dafür voll aufzukommen.

Art. 14 Natur- und Heimatschutz

1 Die Konzessionäre sind gehalten, im Bereich ihrer Anlage stets für gute Ordnung zu sorgen.

2 Rechengut sowie Ablagerungs- und Schwimmstoffe aus den Becken dürfen nicht mehr in den Bach zurückgegeben werden, sondern sind abzuführen oder an geeigneter Stelle schadlos zu deponieren.

Art. 15 Gesetzgebung

1 Soweit das Konzessionsverhältnis durch diese Konzession nicht geregelt ist, sind die Bestimmungen des Bundesgesetzes über die Nutzbarmachung der Wasserkräfte vom 22. Dezember 1916[1] und des kantonalen Gesetzes über die Wasserbaupolizei, Wasserrecht und Gewässerkorrektionen vom 9. April 1877 / 28. April 1907[2], das Bundesgesetz über die Fischerei vom 14. Dezember 1973[3], das kantonale Gesetz über die Fischerei vom 7. Dezember 1975[4], die Fischereiverordnung vom 29. Januar 1976[5] sowie das kantonale Baugesetz vom 4. Juni 1972[6] anwendbar.

2 Zwingende neue Bestimmungen der künftigen eidgenössischen und kantonalen Gesetzgebung bleiben vorbehalten.

Art. 16 Streitigkeiten

Alle Streitigkeiten, die aus dieser Vereinbarung zwischen dem Kanton und den Konzessionären entstehen, werden nach Art. 71 des Bundesgesetzes über die Nutzbarmachung der Wasserkräfte vom 22. Dezember 1916[1] entschieden.

Art. 17 Inkrafttreten

Diese Konzession tritt rückwirkend auf den 1. Januar 1984 in Kraft, nachdem die Konzessionäre ihre Annahme erklärt haben.

Sarnen, 28. August 1984 IM NAMEN DES REGIERUNGSRATES;

Der Landammann:

KANTON OBWALDEN * REGIERUNGSRAT *

Für den Landschreiber:

1 SR 721.80
2 LB II, 259, und IV, 249
3 SR 923.0
4 LB XV, 261
5 LB XV, 266
6 LB XIII, 347

Die Gebrüder Josef und Robert Burch, Wilen, erklären hiermit die Annahme der Konzession.

Wilen, - 7. Sep. 1984

Die Konzessionäre:

GEBRÜDER BURCH
SÄGEREI U. HOLZHANDLUNG
6062 WILEN

Vorliegende Konzession wurde in fünf Exemplaren ausgefertigt und wie folgt verteilt:

1 Exemplar Konzessionäre
2 Exemplare Baudepartement Obwalden
1 Exemplar Staatskasse
1 Exemplar Staatskanzlei

Anhang 3: Messbericht Fluke 435

Messort: Hochschule Luzern, Technik & Architektur
Raum: Elektrolabor C332
Messgeräte: Universal Power Analyzer PM3000 (Inv. Nr. 11 102)
Fluke 435 Power Quality Analyzer (Inv. Nr. 31 202)
Stromzangen PR 430 (Inv. Nr. 11 541; 11 543; 11 544)
El. Versorgungsnetz: 3 x 400V 50HZ (3LNPE)

Beschreibung Versuchsaufbau

Eine Drehstrom-Asynchronmaschine wird als Motor betrieben. Die mechanische Last ist konstant. Mit zwei Leistungsmessgeräten werden Wirkleistung, Scheinleistung, Blindleistung und der Leistungsfaktor erfasst. Zudem werden alle 3 Phasenströme und Phasenspannungen aufgenommen.
Das Ziel dieser Messungen ist es, die angezeigten Werte der beiden Messgeräte zu vergleichen und zu verifizieren.

Messung mit PM3000

Parallel zu den beiden Messungen mit Fluke 435 wurde mit dem fest installierten Leistungsmessgerät PM3000 eine Vergleichsmessung durchgeführt. Bei beiden Messungen wurden mit dem PM3000 folgende Werte gemessen.

Angezeigte Messwerte

P [W]	3180
S [VA]	4230
Q [var]	2790
I1 [A]	6.21
I2 [A]	6.29
I3 [A]	6.34
U1 [V]	224
U2 [V]	224
U3 [V]	225
PF	0.75

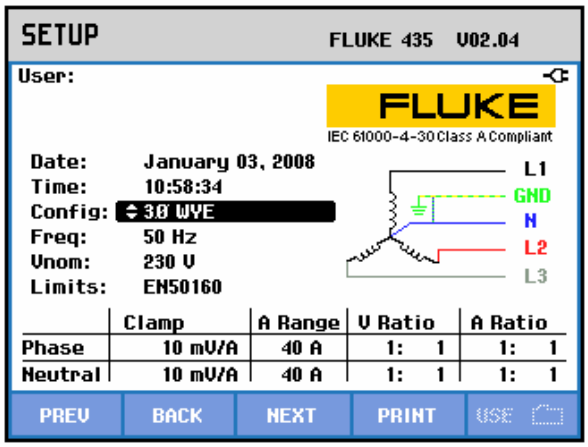
Handrechnung (unabhängig)

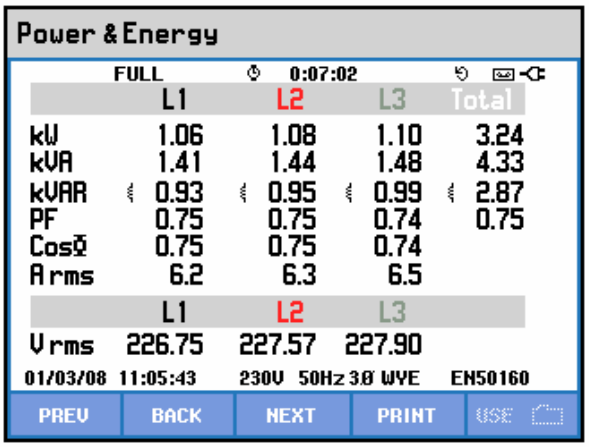
$$S = U_{VK} \cdot I \cdot \sqrt{3} = U_{1N} \cdot I \cdot 3 = 4230VA$$

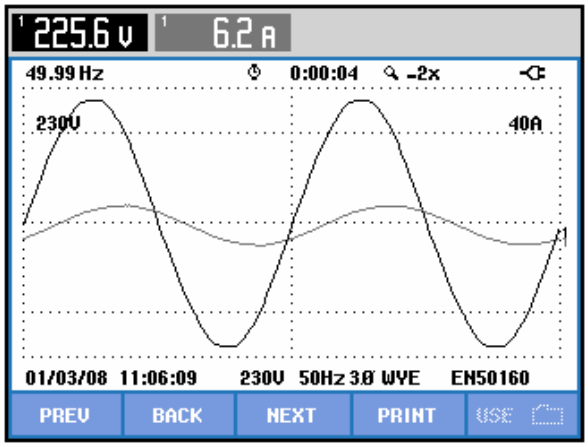
Messung mit Fluke 435

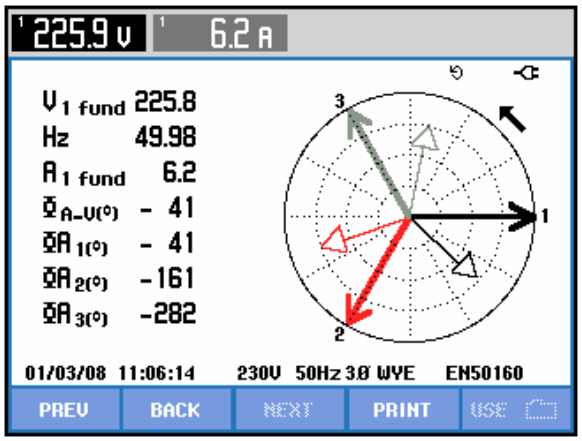
Es wurden zwei verschiedene Messungen durchgeführt wobei jeweils ein anderes Messschema (unter SETUP, Config) gewählt wurde. An der Verdrahtung wurde nichts verändert.

Messung mit Schema 3Ø WYE (Sternschaltung mit Neutralleiter)









Angezeigte Messwerte

P [W]	3240
S [VA]	4320
Q [var]	2850
I1 [A]	6.2
I2 [A]	6.3
I3 [A]	6.5
U1 [V]	226
U2 [V]	226
U3 [V]	226
PF	0.75

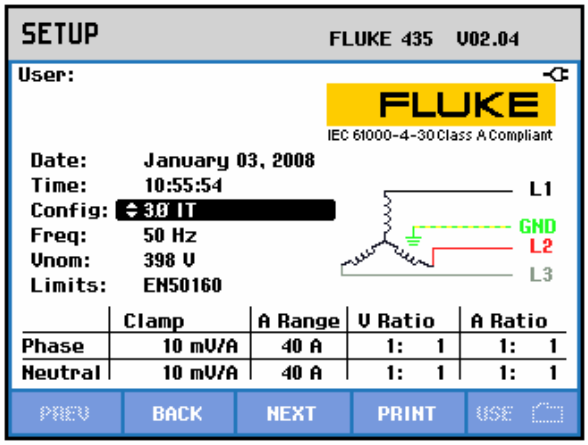
Handrechnung (unabhängig)

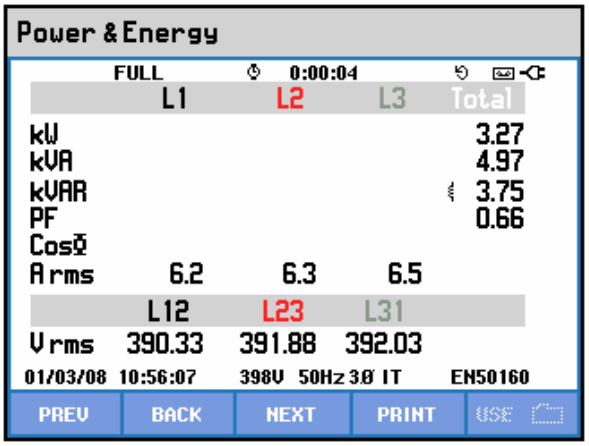
$$S = U_{VK} \cdot I \cdot \sqrt{3} = U_{1N} \cdot I \cdot 3 = 4230VA$$

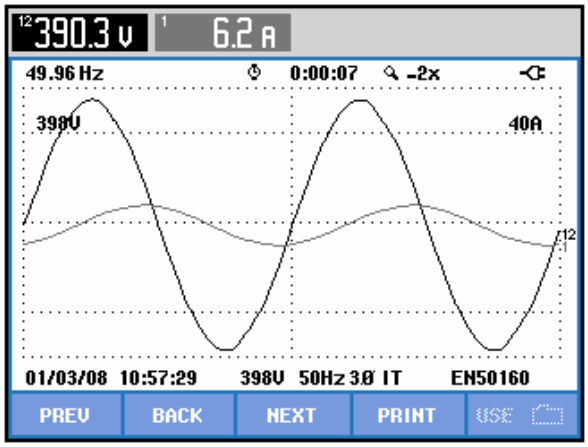
Handrechnung mit angezeigten Werten

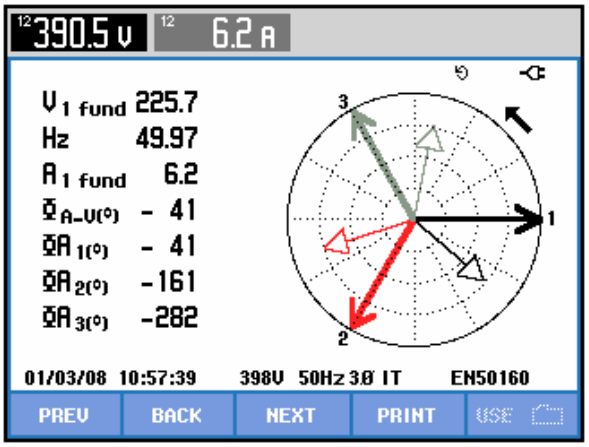
$$S = U_{VK} \cdot I \cdot \sqrt{3} = U_{1N} \cdot I \cdot 3 = 226V \cdot 6.3A \cdot 3 = 4270VA$$

Messung mit Schema 3Ø IT (Sternschaltung ohne Neutralleiter)









Angezeigte Messwerte

P [W]	3270
S [VA]	4970
Q [var]	3740
I1 [A]	6.2
I2 [A]	6.4
I3 [A]	6.5
U1 [V]	390
U2 [V]	391
U3 [V]	391
PF	0.66

Handrechnung (unabhängig)

$$S = U_{VK} \cdot I \cdot \sqrt{3} = U_{1N} \cdot I \cdot 3 = 4230VA$$

Handrechnung mit angezeigten Werten

$$S = U_{VK} \cdot I \cdot \sqrt{3} = 391V \cdot 6.4A \cdot \sqrt{3} = 4330VA$$

Auswertung

Die Wirkleistung und die Ströme stimmen bei allen 3 Messungen überein. Die Spannungswerte stimmen ebenfalls überein. Zu beachten ist lediglich, dass das Messgerät Fluke 435 bei den jeweiligen Messschemas die Spannungen verschieden darstellt resp. berechnet (Strangspannung oder verkettete Spannung). Berechnet man anhand der gewonnen Messwerte die Scheinleistung aus Spannung und Strom, so erhält man die Scheinleistung wie sie beim PM3000 und Fluke 435 mit Messschema mit Neutralleiter angegeben werden. Bei der Messung mit Fluke 435 mit Messschema ohne Neutralleiter zeigt das Messgerät einen anderen Wert an. Abweichungen sind auch bei der Blindleistungsanzeige ersichtlich.
Obwohl bei beiden Messungen mit Fluke 435 dieselbe Messschaltung verwendet wurde und an der zu Messenden Schaltung nichts verändert wurde, werden bei den beiden Scope-Bildschirmen unterschiedliche Phasenverschiebungen zwischen Spannung und Strom dargestellt.

Abklärung mit Fluke Schweiz

Da die unterschiedlichen Messwerte der beiden Messungen mit Fluke 435 nach mehreren Abklärungen und Vergleichsmessungen nicht nachvollzogen werden konnten, kontaktierten wir Herr Markus Treichler der Firma Fluke (Switzerland) GmbH.
Die Lösung für unser „Problem“ war schnell gefunden. Unter den Einstellungen des Fluke 435 (Setup, Config) muss nicht das sogenannte Messschema anhand der Last gewählt werden, sondern nach der Art des elektrischen Versorgungsnetzes. Das heisst, für die Anwendung in der Schweiz wird wohl zu 99% das Schema 3Ø WYE (Sternschaltung mit Neutralleiter) verwendet. Das Messgerät ist für den weltweiten Einsatz entwickelt worden und enthält deshalb sehr viele zusätzliche Funktionen resp. Einstellmöglichkeiten um das Messgerät auf die verschiedensten weltweit vorhandenen Versorgungsnetze einzustellen.
Herr Treichler gestand, er hatte bei den ersten Messungen genau das gleiche „Problem“ gehabt. Nach Rücksprache mit der Entwicklungsabteilung konnte er schlussendlich die Logik des Messgerätes nachvollziehen.

Fazit

Wenn das Messgerät Fluke 435 auf das Schema 3Ø WYE (Sternschaltung mit Neutralleiter) eingestellt wird, dann stimmen die gemessenen Werte auch mit den am PM3000 gemessenen Werten überein. Es ist essentiell wichtig, dass das Messgerät Fluke 435 nach dem elektrischen Versorgungsnetz orientiert konfiguriert wird. Eine entsprechende Kurzanleitung wurde erstellt und im Koffer des Messgerätes platziert.
Es ist sehr schade, steht dies nicht explizit im zum Messgerät mitgelieferten „Getting Startet“-Buch. Wir sind nicht die ersten welche wegen diesem „Problem“ Rücksprache mit Fluke gehalten haben.

Für Messungen Verantwortlich

Burch Tobias tobias.burch@stud.hslu.ch
Gisler Silvan silvan.gisler@stud.hslu.ch

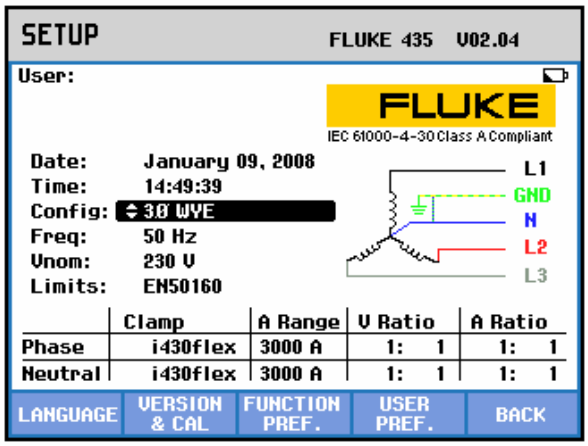
Datum: 03.01.2008
Zeit: 11:00 Uhr

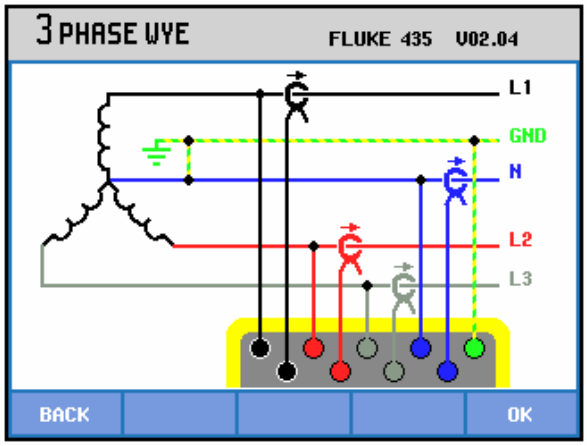
Anhang 4: Kurzanleitung zu FLUKE 435

Einstellung

Unter SETUP, Config ist für Messungen am elektrischen Versorgungsnetz der Schweiz immer folgendes „Netzschema“ zu wählen (lastunabhängig!):

3Ø WYE (Sternschaltung mit Neutralleiter)





Unabhängig von der Last! Diese Einstellung ist immer Versorgungsnetz-orientiert vorzunehmen! Nur so werden z.B. bei der Leistungsmessung die richtigen Werte angezeigt.

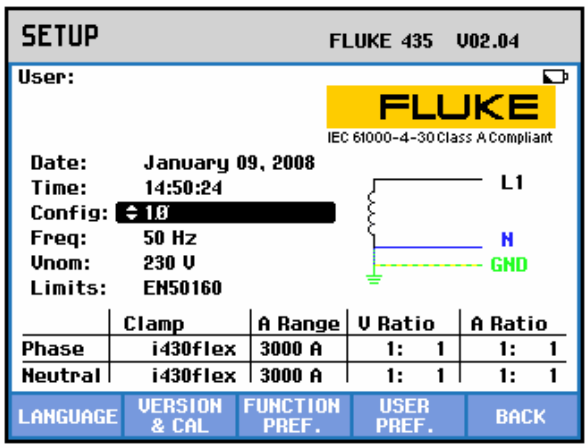
Messgeräte-Anschluss

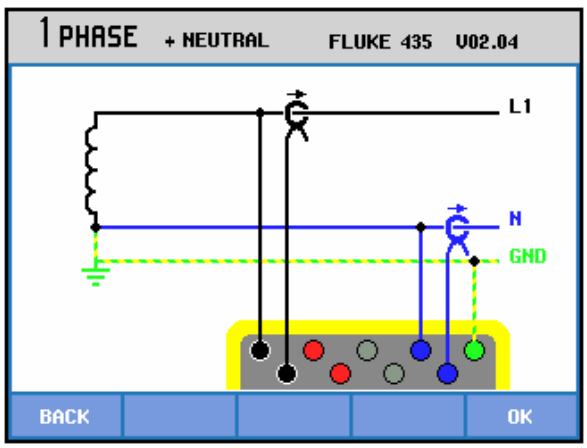
Um korrekte Messergebnisse zu erzielen, muss der Schutzleiter (GND) immer angeschlossen werden! Wenn die zu messende Schaltung kein Neutralleiteranschluss hat, kann auf dessen Anschluss verzichtet werden. Die Einstellungen aber unverändert belassen!

1-phasige Messung

Grundsätzlich reicht obige Einstellung für alle durchzuführenden Messungen. Auch 1-phasige Messungen können mit obiger Einstellung durchgeführt werden. Die Werte für Phase 2 und 3 sind in diesem Fall zu ignorieren.
Möchte man die Anzeigen der nicht benötigten Phasen ausblenden, so ist folgende Einstellung vorzunehmen:

1Ø (L1, N)





Anhang 5: Anfrage bei Global Hydro Energy (Email)

Von: tobias.burch@bluewin.ch
Datum: 14.12.2007 11:13
An: <info@hydro-energy.com>
Betreff: Anfrage

Sehr geehrte Damen und Herren

Wir haben Ihnen eine Anfrage im Anhang beigelegt. Besten dank für Ihre Bemühungen.

Mit freundlichen Grüssen

Tobias Burch

Burch Robert & Josef Gebrüder
Tobias Burch
Sagenstrasse 8
6062 Wilen

Telefon: 0041 +79 641 74 60
Telefax: 0041 +41 660 84 92
E-Mail: tobias.burch@bluewin.ch

Von: info@hydro-energy.com
Datum: 10.01.2008 09:15
An: <tobias.burch@bluewin.ch>
Betreff: Ihre Anfrage

Sehr geehrter Herr Burch,

Vielen Dank für Ihr Mail und für Ihr Interesse an unseren Produkten. Gerne haben wir Ihre Anfrage bearbeitet.
Aufgrund der von Ihnen angegebenen Daten können wir Ihnen unsere Pelton Turbine GHE PT 09-H1 anbieten. Der Wirkungsgrad liegt bei 82%.
In der Anlage senden wir Ihnen dazu technische Unterlagen sowie die Preisliste.
Für weitere Fragen stehen wir Ihnen jederzeit gerne zur Verfügung.

Wir freuen uns auf Ihre Antwort und verbleiben in der Zwischenzeit
mit freundlichen Grüßen / Kind regards

Michaela Strasser
Sekretariat / Secretary

GLOBAL HYDRO ENERGY GmbH
4085 Niederranna 41, Austria
Tel.: +43 7285 514-10
Fax: +43 7285 514-20
E-mail: m.strasser@hydro-energy.com
Internet: http://www.hydro-energy.com

Anhang 6: Anfrage bei Global Hydro Energy (Beschrieb)

Datum der Anfrage	14. Dezember 2007
Firma	Burch Robert & Josef Gebrüder
Name	Burch
Vorname	Tobias
Strasse	Sagenstrasse 8
Postleitzahl	6062 Wilen
Land	Schweiz
Telefon	0041 +79 641 74 60
Telefax	0041 +41 660 84 92
E-Mail	tobias.burch@bluewin.ch
Anlagestandort	dito
Höhen	
Fallhöhe brutto	130 m
Fallhöhe netto	120 m
Aufstellhöhe über Meer	475 m.ü.M.
Wassermengen	
Maximal	26 l/s Ganzes Jahr
Anzahl Turbinen	1
Leistung Gesamtanlage	21 kW (Abgabe Generator)
Wasserbau	ist vorhanden
Generator	
Spannung	400 VAC
Frequenz	50 Hz
Betriebsart	Parallelbetrieb

Beschrieb

Wir haben bei uns eine Peltonturbine installiert, welche das Wasser von einem Wildbach nutzt. Die Anlage ist sehr alt und hat einen Wirkungsgrad von 70% (Generator + Turbine). Ihre Klein-Wasserkraftwerke haben uns sehr angesprochen. Wir würden gerne wissen, mit was für einem Wirkungsgrad wir mit einem von Ihnen hergestellten Kraftwerk rechnen können. Zudem interessieren wir uns auch für deren Kosten, um die Rentabilität der Investition zu berechnen.
Grundsätzlich möchten wir die bestehende Anlage durch eine mit gleicher Leistung ersetzen. Wir spielen jedoch auch mit dem Gedanken die Leistung auf 30 kW zu erhöhen, sofern wir die Konzession für diese Leistung bekämen. Wir würden es sehr schätzen, wenn Sie uns beide Varianten offerieren könnten.

Für Ihre Bemühungen danken wir Ihnen.

Mit freundlichen Grüssen

Tobias Burch

Anhang 7: Produktliste Global Hydro Energy

GUGLER HYDROENERGY

Auswahltabelle für Gugler - Peltonturbinen

Baureihe PT02-04-06-09

Limits und Parameter:

k = 0,48

B_1 = 3,2 x d_o

Type	d_o [mm]	n_T	n_G	D_1 [mm]	Q_{max} [l/s]	Anzahl Düsen max.
PT02	6	0,75	0,8	95	1,2	1
PT04	9,5	0,8	0,8	125	5	2
PT06H	20	0,85	0,85	250	30	1
PT06V	20	0,85	0,85	250	85	4
PT09H	28	0,87	0,85	315	30	1
PT09V	28	0,87	0,85	315	85	4

Legende:

H_n	=	Nettofallhöhe	[m]
Q_T	=	Durchflußmenge	[l/s]
P_T	=	Turbinenleistung	[W]
P_G	=	Generatorleistung	[W]
n_1	=	Turbinendrehzahl (Generatordrehzahl)	[min^{-1}]
v_d	=	Strahlgeschwindigkeit	[m/s]
d_o	=	Strahldurchmesser	[mm]
D_1	=	Strahlkreisdurchmesser	[m]
k	=	Impulsbeiwert	
B_1	=	Innere Becherbreite	[mm]
η_T	=	Wirkungsgrad Turbine	
η_G	=	Wirkungsgrad Generator	

H_n [m]	Q_{Tmax} [l/s] pro Düse					P_{Tmax} [W] pro Düse					P_{Gmax} [W] pro Düse					d_o [mm]					n_1 [min^{-1}]				
	PT02	PT04	PT06H	PT06V	PT09H	PT02	PT04	PT06H	PT06V	PT09H	PT02	PT04	PT06H	PT06V	PT09H	PT02	PT04	PT06H	PT06V	PT09H	PT02	PT04	PT06H	PT06V	PT09H
20	0,5	1,4	6,1	6,1	12,0	81	216	1017	1017	2040	65	173	814	814	1632	6,0	9,5	20,0	20,0	28,0	1912	1453	726	726	576
25	0,6	1,5	6,8	6,8	13,4	113	302	1421	1421	2852	90	241	1137	1137	2281	6,0	9,5	20,0	20,0	28,0	2157	1624	812	812	645
30	0,7	1,7	7,5	7,5	14,6	148	397	1869	1869	3748	119	317	1495	1495	2999	6,0	9,5	20,0	20,0	28,0	2341	1779	890	890	706
35	0,7	1,8	8,1	8,1	15,8	187	500	2355	2355	4724	150	400	1884	1884	3779	6,0	9,5	20,0	20,0	28,0	2529	1922	961	961	763
40	0,8	1,9	8,6	8,6	16,9	228	611	2877	2877	5771	183	489	2301	2301	4617	6,0	9,5	20,0	20,0	28,0	2703	2055	1027	1027	815
45	0,8	2,1	9,1	9,1	17,9	273	729	3433	3433	6886	218	583	2746	2746	5509	6,0	9,5	20,0	20,0	28,0	2867	2179	1090	1090	865
50	0,9	2,2	9,6	9,6	18,9	319	854	4020	4020	8065	255	683	3216	3216	6452	6,0	9,5	20,0	20,0	28,0	3022	2297	1149	1149	912
60	1,0	2,4	10,6	10,6	20,7	420	1122	5285	5285	10602	336	898	4228	4228	8482	6,0	9,5	20,0	20,0	28,0	3311	2516	1258	1258	999
70	1,0	2,6	11,4	11,4	22,4	529	1414	6660	6660	13360	423	1131	5328	5328	10688	6,0	9,5	20,0	20,0	28,0	3576	2718	1359	1359	1079
80	1,1	2,8	12,2	12,2	23,9	646	1728	8137	8137	16323	517	1382	6509	6509	13059	6,0	9,5	20,0	20,0	28,0	3823	2906	1453	1453	1153
90	1,2	2,9	12,9	12,9	25,4	771	2062	9709	9709	19478	617	1649	7767	7767	15582	6,0	9,5	20,0	20,0	28,0	4055	3082	1541	1541	1223
100	1,2	3,1	13,6	13,6	26,7	903	2415	11371	11371	22812	722	1932	9097	9097	18250	6,0	9,5	20,0	20,0	28,0	4274	3248	1624	1624	1289
110	1,3	3,2	14,3	14,3	28,0	1042	2786	13119	13119	26318	833	2229	10495	10495	21055	6,0	9,5	20,0	20,0	28,0	4483	3407	1704	1704	1352
120	1,3	3,4	14,9	14,9	29,3	1187	3174	14948	14948	29988	950	2539	11958	11958	23990	6,0	9,5	20,0	20,0	28,0	4662	3556	1779	1779	1412
130	1,4	3,5	15,5	15,5	30,5	1338	3579	16855	16855	33813	1071	2863	13484	13484	27050	6,0	9,5	20,0	20,0	28,0	4873	3704	1852	1852	1470
140	1,5	3,6	16,1	16,1	31,6	1496	4000	18837	18837	37789	1197	3200	15069	15069	30231	6,0	9,5	20,0	20,0	28,0	5067	3844	1922	1922	1525
150	1,5	3,8	16,7	16,7	32,7	1659	4436	20891	20891	41909	1327	3549	16712	16712	33527	6,0	9,5	20,0	20,0	28,0	5255	3979	1989	1989	1579
160	1,6	3,9	17,2	17,2	33,8	1828	4887	23014	23014	46169	1482	3910	18411	18411	36935	6,0	9,5	20,0	20,0	28,0	5407	4106	2055	2055	1631
170	1,6	4,0	17,8	17,8	34,9	2002	5352	25205	25205	50564	1601	4282	20164	20164	40451	6,0	9,5	20,0	20,0	28,0	5573	4236	2118	2118	1681
180	1,6	4,1	18,3	18,3	35,9	2181	5832	27461	27461	55091	1745	4665	21969	21969	44073	6,0	9,5	20,0	20,0	28,0	5765	4358	2179	2179	1729
190	1,7	4,2	18,8	18,8	36,8	2365	6324	29781	29781	59745	1892	5059	23825	23825	47796	6,0	9,5	20,0	20,0	28,0	5992	4476	2239	2239	1777
200	1,7	4,4	19,3	19,3	37,8	2554	6830	32163	32163	64523	2043	5464	25731	25731	51618	6,0	9,5	20,0	20,0	28,0	6045	4594	2297	2297	1823

ungeeignete Betriebsdrehzahl

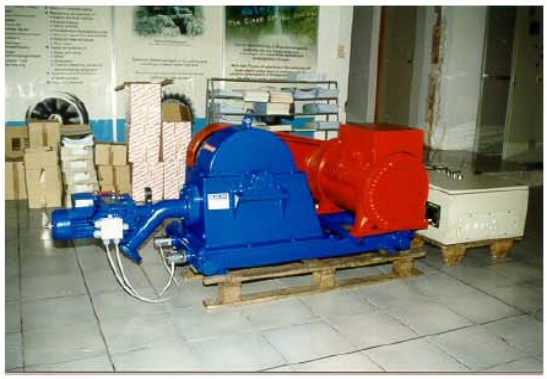
Anhang 8: Kleinwasserkraftwerk Global Hydro Energy

GUGLER HYDROENERGY

Klein-Wasserkraftwerk GUGLER PT 06 H-1 und PT 09 H-1

Kompaktes Wasserturbinenaggregat zum mobilen oder stationären Einsatz mit eindüsiger Pelton-Turbine und Synchrongenerator. Einsetzbar für folgende Bereiche:

Nettofallhöhe:	H_n	=	20 - 200	m
Ausbaudurchfluss:	Q_A	=	1 - 40	l/s
Turbinen-Nennleistung:	P_T	=	1,5 - 35	kW
Generator-Leistung:	P_G	=	1,0 - 30	kW
Turbinen-Drehzahl:	n_1	=	290 - 2300	min-1
Durchgangsdrehzahl:	n_d	=	520 - 4140	min-1
Generator-Drehzahl:	n_2	=	1500 - 3000	min-1



Technische Beschreibung

Turbinengehäuse:	Sphäroguss EN-GJS 600-3; bestehend aus zweiteiligem Gehäuse, beiderseitigen Wellendurchführungsöffnungen mit Labyrinthkammern und Ablaufkanälen; alle Anschluss- und Dichtstellen werden mechanisch bearbeitet.
Grundrahmen:	Stahl S235JRG2, geschweißt, feuerverzinkt; gemeinsamer Fundamentrahmen zur Aufnahme des Turbinengehäuses und des Generators.
Turbinenwelle:	Rostfreier Stahl 1.4301.
Turbinenwellenlagerung:	Gut dimensionierte Pendelrollenlager in Stehlagergehäusen; für Fettschmierung vorbereitet.
Wellenabdichtung:	Labyrinthdichtung und Spritzringe auf der Turbinenwelle montiert.
Laufrad:	Vollguss aus Aluminium oder verschleißfestem Chrom-Nickel-Stahlguss G-X5CrNi 13.4, feinbearbeitet; Laufrad dynamisch gewuchtet und mittels Passfeder auf der Turbinenwelle montiert.
Düsenkrümmer:	Sphäroguss EN-GJS 600-3; Anschluss- und Dichtstellen mechanisch bearbeitet; einseitig angeordnete Längsführung der Düsennadelstange, daher keine Verstopfungsmöglichkeit; geprüft auf 1,5 - fachen Nenndruck; einschl. Druckmanometer (1/4"-50 mm).
Düsenmundstück:	Chrom-Nickel-Stahl 1.4021, gehärtet, auswechselbar.
Düsennadel:	Chrom-Nickel-Stahl 1.4021, gehärtet, auswechselbar.
Düsennadelstange:	Rost- und säurebeständiger Stahl 1.4301; zweifach mittels Dichtringe abgedichtet; gelagert in wartungsfreien Gleitlagerbuchsen.
Düsennadelregulierung:	Gewindespindel mit Handrad, Stellungsanzeige mit Skala in mm und Zeiger. *Optional:* Elektromechanischer Stellantrieb mit Gleich- oder Wechselstrommotor.
Strahlablenker:	*Optional.*
Riementrieb:	Riemenscheibe aus Aluminium; langlebigem Kunststoff-Flachriemen mit Lederlauffläche und Riemenschutz aus Polyester.
Verbindungselemente:	Alle Verbindungs- und Befestigungselemente sind aus rostfreiem Material.
Korrosionsschutz:	Wasserberührte Flächen: kein Korrosionsschutz, da aus rostfreiem Stahl, luftberührte Flächen: 1 Grundanstrich Friazink R 40 my, 1 Deckanstrich 40 my, einzubetonierende Flächen: keine Behandlung.

Wir behalten uns technische Änderungen vor.

GUGLER HYDRO ENERGY GMBH
4085 NIEDERRANNA 41 - AUSTRIA
Tel: +43 - (0)7285 - 514 Fax: +43 - (0)7285 - 514-20
info@hydro-energy.com
www.hydro-energy.com

Anhang 9: Preisliste Global Hydro Energy

PREISLISTE

Kleinwasserkraftwerke GHE PT 06 H-1 und PT 09 H-1

Kompakte Wasserturbinenaggregate zum mobilen oder stationären Einsatz
mit Pelton-Turbine und Generator

Turbine: Pelton-Laufrad, eine regulierbare Düse mit Handrad; Laufrad, Druckmanometer; Gehäuseteile und Düsenkrümmer aus Sphäroguss; gemeinsamer Grundrahmen für Turbine und Generator, abgestimmte Riemenübersetzung, Strahlablenkereinbau auf Wunsch; mit Gewindemuffen für den Einbau von Lastwiderständen und Druckmanometer.

Generator: Wahlweise ein- oder dreiphasig, ausgewählt nach Leistungserfordernis, wahlweise 50 Hz oder 60 Hz, 115/230 V oder 230/400 V, gemäß den lokalen Erfordernissen.

Preise in **EURO** für anschlussfertige, komplette Turbine mit Generator bis:

	PT 06 H-1	PT 09 H-1
3 kW	10.280,-	10.820,-
5 kW	10.600,-	11.150,-
8 kW	10.820,-	11.360,-
10 kW	11.360,-	11.900,-
15 kW	11.900,-	12.660,-
20 kW	12.980,-	13.740,-
30 kW	14.610,-	15.360,-

Aufpreis für Laufrad aus Chrom-Nickelstahl anstatt aus Aluminiumlegierung:

PT 06-1	EUR	760-
PT 09-1	EUR	930,-

Zubehör:

Aufpreis für Strahlablenkereinbau (ohne Stellmotor)

PT 06-1/09-1 EUR 2.170,-

Aufpreis für elektrischen Stellmotor zur Strahlablenkerregulierung

PT 06-1/09-1 EUR 2.140,-

Aufpreis für elektrischen Stellmotor zur Düsenregulierung (angesteuert durch Wasserstands- oder Drehzahlregler), pro Düse

PT 06-1/09-1 EUR 1.630,-

Aufpreis für Lastwiderstände per kW Generatorleistung

PT 06-1/09-1 EUR 52,-

Aufpreis für Absperrschieber DN 80/ DN 100, inkl. Handrad

PT 06-1/09-1 EUR 250,- EUR 310,-

Aufpreis für Einlauftrichter mit Sieb

PT 06-1/09-1 Preis auf Anfrage

Bei Bestellungen unter 5 Stück wird ein Mindermengenzuschlag von € 750,- verrechnet.

Preise: Ab Werk, unverpackt, unverzollt, unversteuert

Stand: 30.11.2005

Technische und preisliche Änderungen vorbehalten.

GLOBAL HYDRO ENERGY GMBH
A - 4085 NIEDERRANNA 41 - AUSTRIA
Tel: +43 (0)7285-514 Fax: +43 (0)7285 514-20
E-Mail: info@hydro-energy.com
Internet: www.hydro-energy.com

Anhang 10: Referenzanlage Blue-Water-Power AG

Blue-Water-Power
Energie aus Trink- und Abwasser

Blue-Water-Power AG
Erlenweg 13, Postfach 32
CH-5503 Schafisheim
Tel +41(0)62 891 09 20
Fax +41(0)62 891 09 21

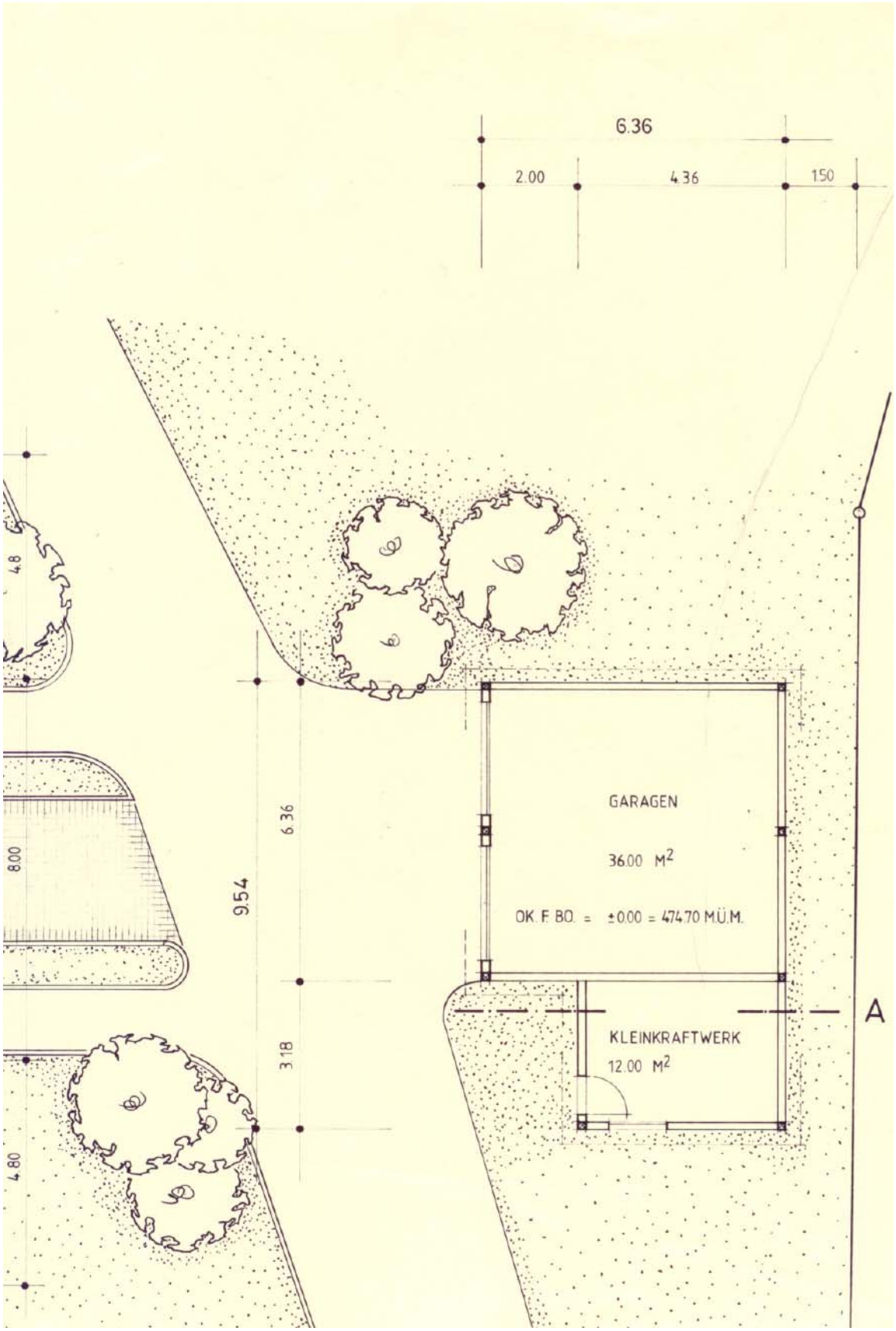
Referenzblatt

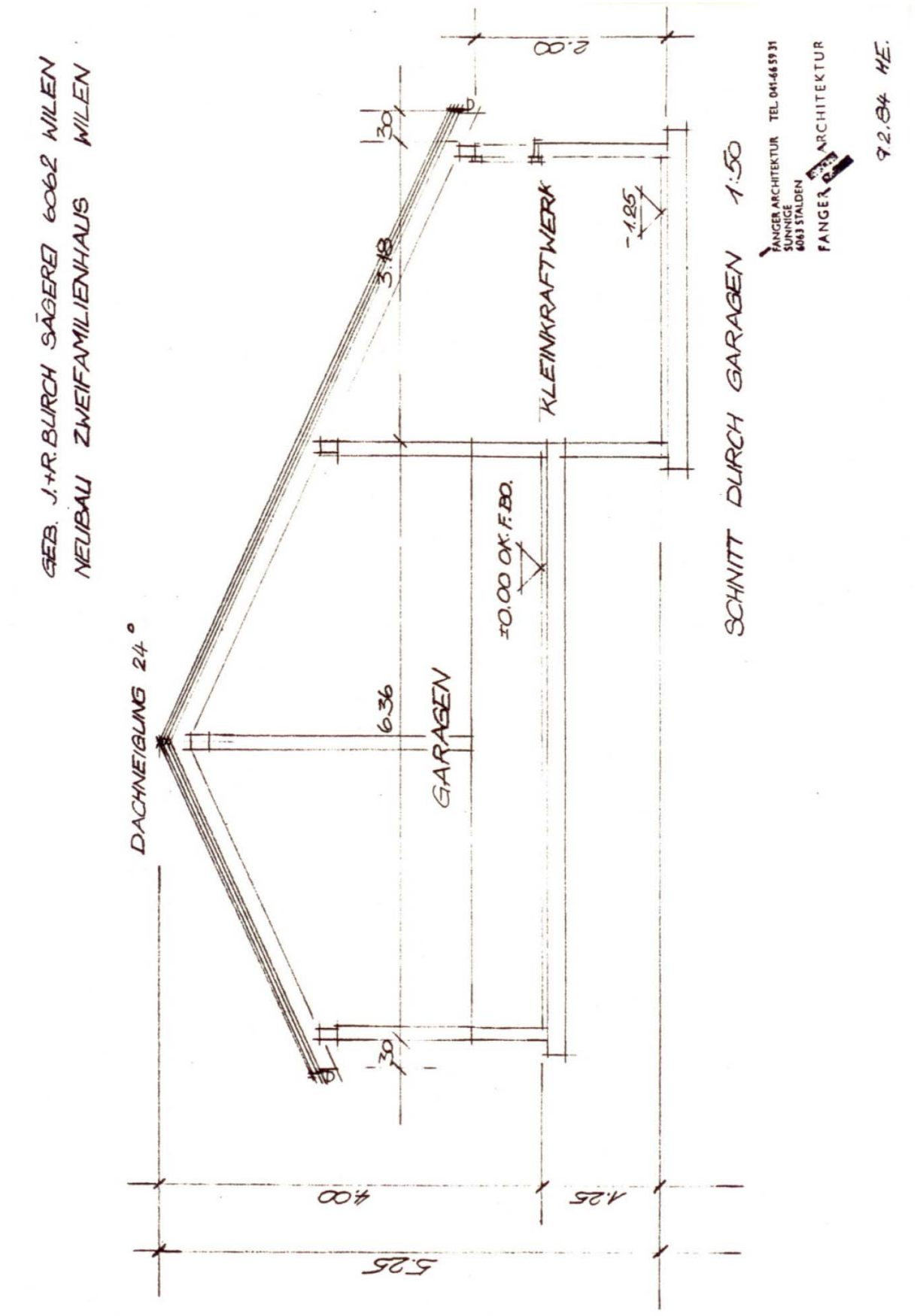
PT Bäuertgemeinde Därstetten

Bauherr:	Bäuertgemeinde Berg-Reichenbach-Hasli, 3763 Därstetten
Inbetriebnahme:	Juni 2006
Anlagen-Typ:	eindüsige Peltontrubine VT 700, 1-Strahl, Fabrikat Sigrist
Steuerung:	Kobel Elektroapparatebau
Wassermenge:	1'200 l/min oder 20.0 l/sek. (bei Q_{max})
Höhe netto:	145 m (bei Q_{max})
ETA Turbine:	84.3%
PWelle:	24.0 kW
PNetz:	21.8 kW
Laufzeit:	ganzes Jahr

info@blue-water-power.ch
www.blue-water-power.ch

Anhang 11: Bauplan Maschinenhaus




GEB. J+R. BURCH SÄGEREI 6062 WILEN
NEUBAU ZWEIFAMILIENHAUS WILEN
SCHNITT DURCH GARAGEN 1:50
FÄNGER ARCHITEKTUR TEL. 041-66 59 31
SUNNHGE
6063 STALDEN
FÄNGER ARCHITEKTUR
9.2.94 HE.
DACHNEIGUNG 24°
GARAGEN
KLEINKRAFTWERK
±0.00 OK. F. BO.
-1.25
3.18
6.36
8.12
5.25
4.00
4.25

Anhang 12: Bilder Laufrad Peltonturbine

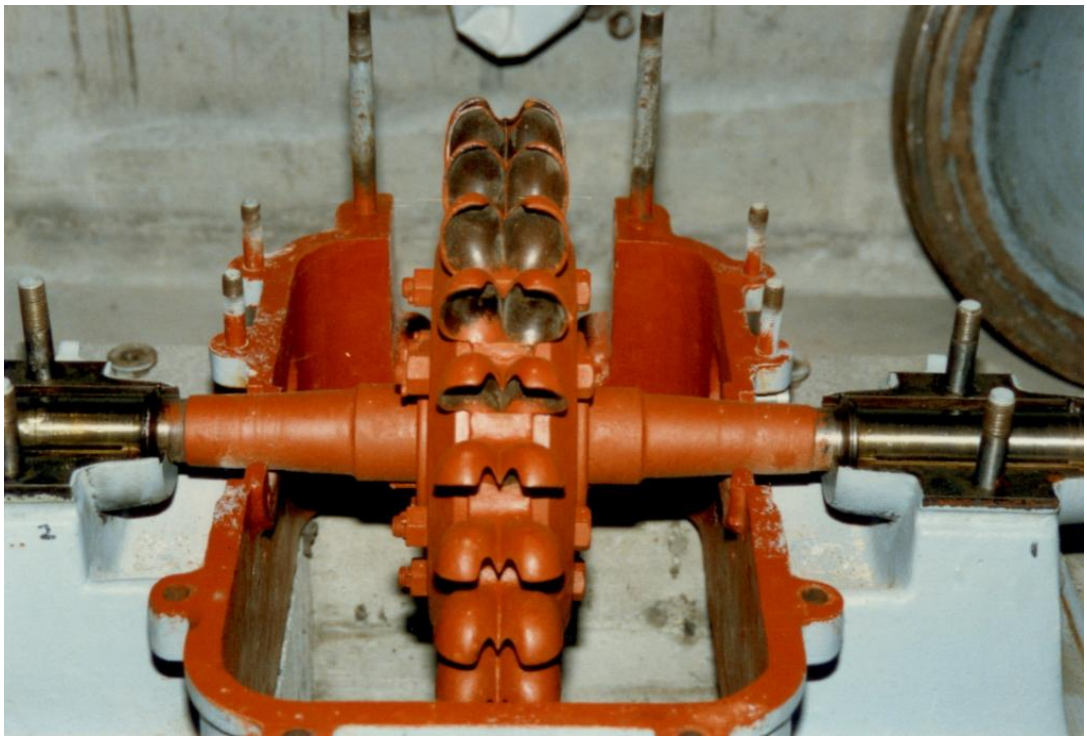


Foto von 1984

Foto vom 31.08.2007

Anhang 13: Bilder Maschinenhaus und Gerisbach

Foto vom Neubau des Maschinenhauses 1985

Foto vom Gerisbach bei der Wasserfassung vom 17.08.07

Anhang 14: Zeitplan